

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
PASCALE DOMBROWSKI

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'HABITAT POUR LE CANARD PILET,
ANAS ACUTA, PAR L'ANALYSE DE PARAMÈTRES SANGUINS

AOÛT 1999

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

Ce projet de recherche visait à évaluer la condition du canard pilet à Saint-Barthélemy à l'aide de l'analyse de paramètres sanguins. Les principaux objectifs étaient de: 1) caractériser la dynamique des réserves nutritives des canards pilets au printemps; 2) développer une méthode d'estimation non-invasive des réserves nutritives pouvant s'appliquer aux individus vivants; 3) déterminer le moment de l'arrivée des canards pilets à Saint-Barthélemy; 4) définir l'état reproducteur des femelles pilets et trouver une manière d'estimer cet état reproducteur à partir de mesures externes et d'indicateurs biochimiques sanguins.

Les canards pilets ont montré un gain de poids significatif durant leur séjour printanier à Saint-Barthélemy dû essentiellement à l'augmentation des protéines corporelles totales. La masse osseuse des femelles augmentent pendant leur séjour à Saint-Barthélemy. La performance des différents indices calculés à partir des composantes corporelles varie selon le sexe et selon le type de réserves à estimer. Les paramètres biochimiques sanguins pris séparément ne sont pas de bons estimateurs des réserves ou des indices nutritionnels. Les équations combinant certains paramètres biochimiques sanguins avec le poids frais procurent des coefficients de corrélation comparables aux indices de condition et peuvent être utilisées pour prédire les réserves énergétiques accumulées, surtout les protéines. L'activité enzymatique de la créatine kinase a permis de soulever l'hypothèse de deux

modes de migration printanière pour les canards pilets qui séjournent à Saint-Barthélemy. Les résultats de notre étude indiquent que les femelles débutent la phase de croissance rapide des follicules (RFG) pendant leur séjour à Saint-Barthélemy. Pour ces femelles, la masse folliculaire, le calcium sanguin total et le poids des cendres augmentent de manière significative avec l'accroissement du diamètre folliculaire. Les femelles en RFG ont des masses musculaires et osseuses plus élevées que les femelles en pré-RFG. Elles ont aussi un taux de calcium total sérique plus élevé. Toutefois, nous n'avons pas observé de différence entre les deux groupes de femelles au niveau de la quantité de graisses et des hormones sexuelles (oestradiol et progestérone).

Une équation a été élaborée afin d'estimer le diamètre du plus gros follicule ovarien des femelles à partir du poids frais et du calcium sérique. Cette nouvelle approche pourrait permettre d'estimer l'état reproducteur des femelles pilets à Saint-Barthélemy sans devoir sacrifier l'animal. L'étude a permis de mettre en évidence l'utilisation de la halte migratoire de Saint-Barthélemy lors de la période de reproduction des canards pilets en leur procurant une nourriture adéquate.

AVANT-PROPOS

Ce mémoire est écrit en français sous forme de deux articles scientifiques qui seront soumis, après leur traduction en langue anglaise, à la revue scientifique "Journal of Wildlife Management".

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier les instigateurs de ce projet de maîtrise, le Dr Richard Couture et le Dr Christian Linard, qui ont su me conseiller et me diriger tout au long de cette recherche. De plus, je voudrais aussi remercier mon co-directeur Jean-Claude Bourgeois, qui, par ses efforts soutenus pour la protection de la sauvagine au lac Saint-Pierre, a su rendre possible la réalisation de cette étude. Il a également su dénicher les meilleures opportunités pour me permettre de mettre en valeur les résultats obtenus.

J'exprime ma reconnaissance à Denis Bourbeau, Daniel Dolan, Jean-Yves Grenier, Michel Pigeon, Louis-Marc Soyer, techniciens du Ministère de l'Environnement et de la Faune, ainsi qu'aux participants bénévoles sur le terrain (George Banks et Yves Robitaille, entre autres) qui ont permis de réaliser la cueillette des spécimens.

Un gros merci aussi à Martin Beauchesne, Amélie Cadotte et Marie-Claire Couture pour leur aide précieuse lors de la préparation des carcasses et pour leur analyse en laboratoire. Merci également à Marie-Guyline Gagnon de l'Université du Québec à Trois-Rivières qui a pris grand soin des échantillons sanguins.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers le Dr Antoine Aubin pour ses précieux conseils lors du traitement statistique et de l'analyse des données recueillies.

Finalement, j'aimerais remercier Martin Arvisais pour le support, moral et technique, qu'il m'a apporté au cours de la rédaction de ce mémoire. Son humour et sa bonne humeur m'ont donné la motivation de poursuivre ce travail jusqu'à la fin.

Cette étude a été réalisée en partie grâce à la participation financière de la Fondation Héritage Faune, la Fondation de la Faune du Québec, et de Canards Illimités et grâce à la bourse d'intervention spéciale de l'Université du Québec à Trois-Rivières et à la bourse de la Fondation Universitaire du Centre du Québec.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
AVANT-PROPOS	iv
REMERCIEMENTS	v
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES TABLEAUX	xi
LISTE DES FIGURES	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Problématique	1
État des connaissances	5
Méthodes d'évaluation des populations et du milieu	5
Analyses de carcasses	6
Analyses de paramètres sanguins	7
Méthodologie privilégiée	10

Description générale du projet.....	11
CHAPITRE 1	
PERFORMANCE DE MÉTHODES ESTIMANT LA CONDITION	
PHYSIOLOGIQUE DU CANARD PILET AU PRINTEMPS.....	12
abstract.....	13
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	18
Site de l'Étude	18
Récolte des Échantillons.....	18
Quantité de Réserves Énergétiques.....	19
Définition des Indices.....	20
Paramètres Sanguins Utilisés.....	22
Analyses Biochimiques.....	22
Analyses Statistiques	23
RÉSULTATS.....	24
Dynamique des Réserves Nutritives.....	24
Estimation des Réserves – Indices.....	25
Estimation des Réserves – Paramètres Biochimiques Sanguins	25
Épuisement	26
DISCUSSION.....	27
Dynamique des Réserves Nutritives.....	27
Estimation des Réserves – Indices.....	30
Estimation des Réserves – Paramètres Biochimiques Sanguins	34

Épuisement.....	36
IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT.....	38
REMERCIEMENTS.....	38
BIBLIOGRAPHIE.....	39
LÉGENDE DES FIGURES.....	55

CHAPITRE 2

ÉTAT REPRODUCTEUR DES FEMELLES PILETS

À SAINT-BARTHÉLEMY.....	62
abstract.....	63
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	65
Site de l'Étude.....	65
Récolte des Échantillons.....	66
Analyse des Spécimens.....	66
Paramètres Sanguins Utilisés.....	67
Analyses Biochimiques.....	68
Analyses Statistiques.....	68
RÉSULTATS.....	69
État Reproducteur des Femelles.....	69
Préparation des Femelles Pour la Ponte.....	69
Dynamique des Composantes Corporelles.....	70
Estimation de l'État Reproducteur des Femelles.....	70
DISCUSSION.....	71

État Reproducteur des Femelles.....	71
Préparation des Femelles Pour la Ponte.....	71
Dynamique des Composantes Corporelles.....	73
Estimation de l'État Reproducteur des Femelles.....	78
IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT.....	79
REMERCIEMENTS.....	81
BIBLIOGRAPHIE.....	81
LÉGENDE DES FIGURES.....	92
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	97
RÉFÉRENCES DE L'INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	99

LISTE DES TABLEAUX

Article 1

Tableau 1. Matrice des coefficients de corrélation simple de Spearman (r_s) entre les indices (traditionnels et de condition) et les réserves énergétiques pour 30 mâles (M) et 27 femelles (F) pilets abattus à Saint-Barthélemy au printemps 1997	51
Tableau 2. Matrice des coefficients de corrélations de Spearman entre les paramètres sanguins et les réserves énergétiques et les différents indices des mâles pilets à Saint-Barthélemy (printemps 1997).....	52
Tableau 3. Matrice des coefficients de corrélation de Spearman entre les paramètres sanguins et les réserves énergétiques et les différents indices des femelles pilets à Saint-Barthélemy (printemps 1997).	53
Tableau 4. Modèle de régression multiple pour prédire le poids (g) des protéines (P) et des lipides (L) à partir de paramètres non-invasifs (x) pour les canards pilets à Saint-Barthélemy (printemps 1997)....	54

Article 2

Tableau 1. Principales composantes (moyenne \pm écart-type) des canards pilets femelles à Saint-Barthélemy selon leur stade de reproduction (pré-RFG et RFG) au printemps 1997.....	90
Tableau 2. Comparaison entre les composantes (grammes, moyenne \pm erreur-type) des canards pilets femelles en Alaska (1987 et 1988) et à Saint-Barthélemy (1997).....	91

LISTE DES FIGURES

Article 1

Figure 1. Poids frais des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date	56
Figure 2. Quantité de lipides dans les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date	57
Figure 3. Quantité de protéines dans les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date	58
Figure 4. Quantité d'eau dans les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date	59
Figure 5. Quantité de cendres dans les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date	60
Figure 6. Créatine kinase (CK) sérique des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date	61

Article 2

- Figure 1. Diamètre du plus gros follicule ovarien de 27 femelles pilets abattues à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date. Les cercles pleins représentent les femelles en RFG ($\varnothing > 8,2$ mm; Esler 1994). 93
- Figure 2. Poids des follicules ovariens de 27 femelles pilets abattues à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction du diamètre du plus gros follicule ovarien. Les cercles pleins représentent les femelles en RFG ($\varnothing > 8,2$ mm; Esler 1994). 94
- Figure 3. Calcium sérique total de 27 femelles pilets abattues à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction du diamètre du plus gros follicule ovarien. Les cercles pleins représentent les femelles en RFG ($\varnothing > 8,2$ mm; Esler 1994). 95
- Figure 4. Poids des cendres de 27 femelles pilets abattues à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction du diamètre du plus gros follicule ovarien. Les cercles pleins représentent les femelles en RFG ($\varnothing > 8,2$ mm; Esler 1994). 96

INTRODUCTION GÉNÉRALE

PROBLÉMATIQUE

Durant l'hiver, les canards pilets (*Anas acuta*) se rassemblent en bandes dans les aires d'hivernage du Mexique et du sud des États-Unis avant d'entreprendre la migration printanière vers les sites de nidification. En Californie (Miller 1986, 1987) et en Louisiane (Rave et Cordes 1993), le temps passé à l'alimentation par les canards pilets augmente en février et en mars (phénomène d'hyperphagie), ce qui correspond à une augmentation de la masse corporelle juste avant la migration. Cependant, les canards qui hivernent au Texas (Smith et Sheeley 1993) et au Mexique (Thompson et Baldassarre 1991), ne montrent pas d'augmentation de la masse corporelle avant d'entreprendre la migration et accumuleraient donc les réserves nécessaires à la poursuite de la migration (Whittow 1986) et à la reproduction (Ankney et Mac Innes 1978, Krapu 1981, Mann and Sedinger 1993, Esler and Grand 1994) durant leur déplacement migratoire.

L'accumulation de réserves (graisses, protéines, calcium) en prévision de la reproduction est très importante pour les femelles du canard pilet qui commencent à pondre dès leur arrivée aux sites de ponte (Krapu et Reinecke 1992). Les lipides entrent directement dans la composition du vitellus de l'œuf (Johnson 1986). Quant aux protéines,

elles servent à la production de l'albumen (blanc de l'œuf). Finalement, le calcium, provenant de la diète, principalement des invertébrés (apport exogène), et des os longs des femelles (source endogène), composera la coquille de l'œuf (Johnson 1986).

Les femelles qui nichent plus au sud profitent d'un climat favorable où la nourriture est abondante. Dans le Dakota du Nord, l'énergie et les lipides nécessaires à la production des œufs proviennent à la fois des réserves accumulées et de l'alimentation *in situ* (Krapu 1974a). Les femelles qui arrivent aux sites de pontes du Dakota du Nord consacrent 25 % de leur temps à s'alimenter; ce pourcentage augmente à 40 % juste avant et pendant la ponte et à 60 % durant la période où elles quittent le nid pour se nourrir lors de l'incubation (Krapu et Reinecke 1992). Elles le quittent deux fois par jour pour se nourrir et pratiquer des activités de bien-être (Derrickson 1978). Les proies animales sont particulièrement importantes pour les femelles avant et pendant la ponte (Krapu 1974a, b; Krapu et Reinecke 1992). Durant cette période, plus de 50 % de la diète des femelles est constituée de macro-invertébrés (vers, insectes, mollusques) leur procurant le calcium et les protéines exogènes qui entrent dans la formation des œufs (Krapu 1974a, Krapu et Swanson 1975, Krapu et Reinecke 1992). Les réserves de graisses procurent alors une source d'énergie que les femelles utilisent lors de la recherche de proies animales.

Les conditions retrouvées au nord sont plus difficiles (ressources alimentaires plus rares et températures plus froides). En Alaska, les femelles doivent, pour la production des œufs et l'incubation, compter davantage sur les réserves accumulées. En effet, les protéines

endogènes contribuent pour 21 à 62 % des protéines totales nécessaires à la production des œufs (Mann et Sedinger 1993, Esler et Grand 1994).

Les réserves de graisses des femelles pilets diminuent au cours de la saison de reproduction proportionnellement à leur utilisation pour la production des œufs, pour la maintenance et pour l'incubation (Krapu 1974a, Krapu et Reincke 1992, Mann et Sedinger 1993, Esler et Grand 1994). Les canards pilets mâles utilisent, quant à eux, leurs réserves de graisses pour accompagner et défendre leur partenaire durant les périodes de préonte et de ponte, bien qu'ils ne soient pas très territoriaux (Derrickson 1978). En effet, ceux-ci quittent leur partenaire quelques jours après le début de l'incubation (Bellerose 1980).

Les routes de migration suivies au printemps par les canards pilets sont moins bien connues que celles de la migration automnale (Austin et Miller 1995). Les canards qui séjournent dans les environs du lac Saint-Pierre (Québec, Canada) au printemps proviennent des états de la côte est américaine, principalement de la Caroline du Nord, de la Caroline du Sud et de la Floride, en suivant le couloir de migration de l'Atlantique (Bellerose 1980). À l'est du Canada, le canard pilet niche le long des côtes de la Baie James et de la Baie d'Hudson, au nord-ouest du Québec, à travers l'est du Québec et du Labrador (Austin et Miller 1995). Certaines femelles pilets demeurent dans la région du lac Saint-Pierre pour pondre (Bélanger et Couture 1989).

Depuis les 50 dernières années les populations de canards pilets ont connu d'importantes baisses d'effectifs causées principalement par la disparition de zones humides (Fredrickson et Heitmeyer 1991). Suite à ce déclin, des objectifs prioritaires de conservations ont été formulés. Il devenait primordial d'identifier les habitats utilisés pendant la migration printanière et de bien définir le rôle de ces habitats dans l'acquisition des réserves nutritives utilisées pour la reproduction (Austin et Miller 1995).

À Saint-Barthélemy, des aménagements visant à assurer les besoins fauniques de la sauvagine en migration printanière ont été réalisés au cours des dernières années et la mise en service de ces aménagements était prévue pour 1999. Ce projet avait pour objectif de tenter de pallier à la diminution de la population de canards pilets. Le nombre de canards barboteurs qui fréquentent le secteur peut atteindre 10 000 individus dont 80% sont des canards pilets. Ces derniers utilisent les plaines inondées principalement pour l'alimentation mais aussi pour le repos (Bastien 1993). Ce site est présumé être un habitat de qualité élevée et riche en ressources alimentaires (Bourgeois 1994) qui permet aux oiseaux de reprendre des forces en récupérant les graisses essentielles à la poursuite de la migration et à la reproduction (Olsen 1994), ainsi que les protéines et le calcium nécessaires à la formation des oeufs (Krapu 1974a, 1981).

Ce projet de recherche visait à évaluer la condition du canard pilet par l'analyse de paramètres sanguins. Les principaux objectifs étaient de: 1) caractériser la dynamique des réserves nutritives des canards pilets au printemps; 2) développer une méthode d'estimation

des réserves nutritives pouvant s'appliquer aux individus vivants; 3) d'estimer le moment de l'arrivée des canards pilets à Saint-Barthélemy; 4) définir l'état reproducteur des femelles pilets et de trouver une manière d'estimer cet état reproducteur à partir de mesures externes et d'indicateurs biochimiques sanguins.

ÉTAT DES CONNAISSANCES

Méthodes d'évaluation des populations et du milieu

L'étude de la dynamique d'une population dont on soupçonne une diminution des effectifs est basée sur des méthodes statistiques auxquelles viennent s'ajouter des indicateurs de la qualité nutritionnelle et reproductive de la population (Johnson et al. 1985). En effet, la densité des populations est étroitement reliée à la qualité de l'habitat et particulièrement à la qualité et à la quantité de nourriture disponible (Smith 1970, Swanson et Meyer 1977, Raveling et Heitmeyer 1989).

Il existe plusieurs façons d'estimer la capacité nutritionnelle de l'habitat pour les oiseaux et les mammifères (Harder et Kirkpatrick 1994). Par exemple, on peut tenter d'évaluer le milieu par des mesures directes de la biomasse de nourriture disponible et effectuer des inventaires de végétation (Laubhan et Frederickson 1992) ou de proies (Swanson 1983). Bien que cette technique soit révélatrice et représentative du milieu à l'étude, elle demeure fastidieuse (les inventaires de végétation ne sont pas à la portée de tous) et souvent très longue et coûteuse (les surfaces à couvrir sont rarement limitées). De

plus, elle ne permet pas de connaître ce que l'animal a réellement absorbé. Il existe alors une alternative: des mesures peuvent être prises directement sur des animaux vivants (échantillon de sang, analyses de fèces et/ou d'urine), sur des animaux morts (dépôts graisseux, analyse de contenus stomacaux), ou sur des animaux vivants ou morts (mesures corporelles, longueur, poids). Certaines mesures témoignent de conditions physiologiques acquises à long terme tandis que d'autres, comme l'échantillonnage sanguin, permettent de suivre les changements physiques et physiologiques qui surviennent dans de courts laps de temps (changements hormonaux, métabolisme interne, etc.).

Analyses de carcasses

En ce qui concerne les oiseaux migrateurs, les dépôts de graisses et de protéines sont souvent utilisés lors des périodes critiques pour déterminer la condition des individus (Ankney et Afton 1988, Afton et Ankney 1991, Ankney et al. 1991, Gauthier et al. 1992). Miller (1986) a évalué la condition des canards pilets durant l'hiver à l'aide des dépôts graisseux. Whyte et Bolen (1984) ont fait de même pour le canard colvert (*Anas platyrhynchos*). Enfin, les techniques d'extraction lipidique ou d'extraction de l'eau peuvent également conduire à la mesure d'un indice lipidique qui permet de déterminer avec une précision variable la quantité de graisses qu'un oiseau peut avoir accumulées (Jonhson et al. 1985).

Analyses de paramètres sanguins

Bien qu'elles ne soient pas utilisées aussi couramment chez les oiseaux que chez les mammifères comme indice physiologique, les caractéristiques biochimiques sanguines offrent d'intéressantes possibilités quant à l'évaluation de l'état nutritionnel des individus durant la reproduction (Harder et Kirkpatrick 1994), cette dernière représentant une période critique dans la vie d'un oiseau afin de lui assurer son succès reproducteur.

Les principaux travaux se rapportant aux analyses sanguines chez les oiseaux ont pour but d'estimer le stress nutritionnel durant la période de reproduction. Par exemple, on note qu'un nombre considérable de valeurs existent sur les paramètres sanguins du canard colvert (Altman 1986, Hochleithner 1994, Olsen 1994). Des paramètres hématologiques et biochimiques ont été analysés à partir d'individus des deux sexes pendant plusieurs stades de reproduction: pré-ponte, ponte, incubation, mue et post-reproduction (Fairbrother 1990, Fairbrother et O'Loughlin 1990). Des individus plus jeunes (5 à 58 jours) ont également subi ces analyses. En regard des résultats, les paramètres biochimiques doivent être évalués selon le sexe, l'âge et le statut reproducteur de l'oiseau. L'étude menée par ces chercheurs démontre que la ponte cause une augmentation de 12 paramètres (sur les 17 analysés). La γ -glutamyltransférase sérique (enzyme liée à la membrane cellulaire qui est présente en grande quantité dans la substance médullaire et le cortex du rein et, dans une moindre mesure, dans la muqueuse de l'intestin grêle et dans le canal cholédoque), a augmenté de dix fois lors de la ponte.

Pour répondre aux différents besoins énergétiques des oiseaux, les lipides sont libérés à partir des tissus adipeux sous la forme d'acides gras libres et sont transportés dans le sang par les lipoprotéines. Le taux d'acides gras libres transportés par l'albumine tend à augmenter lors de vols prolongés suite à l'utilisation des réserves lipidiques comme source de carburant (Griminger 1986). Par ailleurs, on sait que les acides gras libres augmentent pendant l'incubation chez la sarcelle à ailes bleues (*Anas discor*) (Harris 1970) et chez la femelle eider à duvet (*Somateria mollissima*) (Korschgen 1977). Chez les femelles du colin de Virginie (*Colinus virginianus*), on a observé que les triglycérides sanguins étaient huit fois plus élevés au moment de la ponte (McRae et Dimmick 1982).

Pour ce qui est de l'acide urique sérique (principal produit de dégradation des acides aminés et des acides nucléiques chez les oiseaux), on peut s'attendre à des variations au cours du cycle reproducteur (Hochleithner 1994). Il peut en effet y avoir une diminution de ce paramètre lors de l'ovulation (Amand 1986) suivie, jusqu'au moment de la ponte, d'une augmentation indiquant l'épuisement des réserves lipidiques et par conséquent, l'augmentation de la gluconéogenèse à partir des protéines (Harris 1970). Chez la femelle eider à duvet, l'acide urique diminue durant l'incubation; quand au glucose, il augmente durant la période précédant l'incubation à cause de l'augmentation de la gluconéogenèse (Harris 1970).

L'albumine est l'une des nombreuses protéines sériques synthétisées par le foie. Elle remplit plusieurs fonctions dont celle du transport d'ions (Ca^{++} , H^+) et de molécules

normalement insolubles en solution aqueuse (ex. bilirubine, acides gras libres, cortisol) en plus de maintenir constante la pression oncotique du plasma (Letellier et Daigneault 1983). De plus, elle représente le principal constituant du blanc de l'œuf. D'ailleurs, on sait que l'albumine sanguine augmente au moment de la ponte chez la femelle colin de virginie (McRae et Dimmick 1982) et chez la femelle colvert (Fairbrother 1990). Chez cette dernière, l'albumine augmente aussi lors de l'incubation. En ce qui concerne les protéines totales, on constate qu'elles augmentent jusqu'à la ponte chez les femelles colverts (Fairbrother 1990) et les dindons sauvages femelles (*Meleagris gallopavo*) (Martin et al. 1981) car elles participent au transport du calcium sanguin nécessaire à la formation de la coquille de l'oeuf puis elles diminuent ensuite durant l'incubation (Korschgen 1977, Fairbrother 1990). Les globulines suivent la même tendance chez la femelle colin de virginie (McRae et Dimmick 1982).

Les paramètres impliqués directement dans la reproduction ont également fait l'objet d'études (Donham 1979). Chez les oiseaux, l'augmentation du calcium sérique pendant le cycle reproducteur est sous le contrôle des oestrogènes (Johnson 1986). Chez les femelles en général, on observe une hypercalcémie physiologique lors de la ponte; on peut observer une augmentation maximale du calcium 4 heures après l'oviposition suivie d'une diminution significative durant la période de calcification de l'oeuf (Johnson 1986). À ce moment, les femelles recherchent instinctivement une alimentation riche en calcium (Joyner 1994, Olsen 1994). Le calcium plasmatique est aussi un indice fiable du développement reproducteur chez le tétras sombre (*Dendragapus obscurus*). Chez cette espèce, le calcium

sanguin total est en corrélation positive très forte avec le poids des oviductes ($r = 0,846$) et le développement des follicules ovariens ($r = 0,758$) (Hannon 1979). Il devient donc possible de déterminer le statut reproducteur des femelles tétras sombres à l'aide de l'analyse du calcium sanguin bien que la mesure directe des oestrogènes sanguins demeure le meilleur indicateur du statut reproducteur (Hannon 1979). L'oestradiol et l'oestrone peuvent indiquer le stade de reproduction (Donham 1979; Martin et al. 1981). Chez le canard colvert, on peut observer une augmentation graduelle de l'oestradiol 2 à 3 semaines avant la ponte pour atteindre un pic maximal 4 à 6 heures précédant l'ovulation; le niveau diminue et redevient normal dès que le premier oeuf est pondu (Johnson 1986, Fairbrother 1990).

MÉTHODOLOGIE PRIVILÉGIÉE

La méthode qui a été préconisée ici est l'analyse d'échantillons sanguins prélevés sur des canards pilets à la halte migratoire de Saint-Barthélemy. Cette méthode prometteuse présente de nombreux avantages dont celui d'indiquer fidèlement l'état physiologique et reproducteur des individus. Comme les échantillons peuvent être prélevés sur des spécimens qui viennent juste d'être abattus (Sheeley et Smith 1989) sans que les paramètres ne soient affectés (Harder et Kirkpatrick 1994), la prise de ces échantillons est donc facilitée. De plus, les changements physiologiques internes qui se produisent pour ces animaux durant leur arrêt à la halte migratoire se déroulent dans un laps de temps très court (Mann et Sedinger 1993). Nous croyons donc que l'analyse des caractéristiques

biochimiques sanguines s'avère le moyen le plus sensible, adéquat et approprié pour suivre efficacement les variations qui peuvent survenir durant ce cours laps de temps.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROJET

Ce mémoire de maîtrise comporte deux sections. Dans une première section (CHAPITRE I) portant sur la condition nutritionnelle printanière des canards pilets à Saint-Barthélemy en 1997, on traite principalement de la performance de différents indices d'estimation de la condition physiologique. On propose aussi d'utiliser certains paramètres biochimiques sanguins pour prédire l'état nutritionnel sans devoir sacrifier les individus. Finalement, on discute de l'épuisement des canards pilets qui arrivent à Saint-Barthélemy afin de préciser leur mode de migration. Cette section est présentée sous la forme d'un article scientifique devant être soumis au *Journal of Wildlife Management*.

La seconde section (CHAPITRE II) de l'étude permet de confirmer l'importance de la région du lac Saint-Pierre pour la nidification des canards pilets au printemps 1997. On y discute de l'état reproducteur des femelles pilets à la halte migratoire de Saint-Barthélemy et de la préparation de ces femelles pour la ponte. On décrit également la dynamique des différentes composantes qui interviennent durant la reproduction chez les femelles pilets. Finalement, on présente une équation qui permet d'estimer le diamètre du plus gros follicule ovarien des femelles à partir de mesures simples qui ne nécessitent pas le sacrifice de ces oiseaux. Cette section est également présentée sous la forme d'un article scientifique qui sera soumis au *Journal of Wildlife Management*.

CHAPITRE I

PERFORMANCE DE MÉTHODES ESTIMANT LA CONDITION PHYSIOLOGIQUE DU CANARD PILET AU PRINTEMPS

Abstract: L'analyse des éléments de la carcasse constitue une méthode longue et coûteuse pour évaluer la condition nutritionnelle de la sauvagine. De plus, elle nécessite le sacrifice des individus. Des méthodes alternatives ont été envisagées. Les objectifs de cette étude étaient: (1) de déterminer la performance de différents indices d'estimation de la condition physiologique des canards pilet (*Anas acuta*) au printemps (2) d'estimer l'épuisement des canards et (3) d'utiliser certains paramètres biochimiques sanguins pour prédire le statut nutritionnel sans devoir sacrifier l'animal. La performance des indices traditionnels a été testée ainsi que celle de paramètres biochimiques sanguins. Les canards pilets ont montré un gain de poids significatif durant leur séjour printanier à Saint-Barthélemy causé principalement par une augmentation de la masse musculaire. Chez les femelles, on observe de plus une augmentation de la masse osseuse pendant leur séjour à Saint-Barthélemy. La performance des différents indices calculés à partir des composantes corporelles varie selon le sexe et selon le type de réserves à estimer. Les paramètres biochimiques sanguins pris séparément ne sont pas de bons estimateurs des réserves ou des indices. Les équations combinant certains paramètres biochimiques sanguins avec le poids frais procurent des coefficients de corrélation comparables aux indices de condition et peuvent être utilisées pour prédire les réserves énergétiques accumulées, surtout les protéines. L'activité enzymatique de la créatine kinase sérique a permis d'émettre l'hypothèse de l'utilisation de deux modes de migration printanière pour les canards pilets qui séjournent à Saint-Barthélemy. Nos résultats permettent de confirmer la possibilité d'utiliser des paramètres biochimiques sanguins associés au poids frais pour estimer la condition printanière de ces animaux du moins en ce qui concerne la quantité de protéines.

En aménagement de la faune, il est généralement admis que la condition physiologique (nutritionnelle et reproductrice) des individus reflète la qualité nutritionnelle des habitats fréquentés (Raveling et Heitmeyer 1989, Harder et Kirkpatrick 1994). Ceci permet, par conséquent, de suivre les changements de la qualité du milieu (Whyte et Bolen 1984). La condition physiologique des oiseaux, et notamment celle de la sauvagine, est fonction de leurs réserves de graisses et de protéines et dépend, en partie, de la disponibilité d'habitats productifs (Gauthier et al. 1984) et de conditions météorologiques favorables (Miller 1986).

Pour la sauvagine, l'accumulation de réserves de gras s'avère le principal élément limitant pendant toute l'année en raison des nombreuses fonctions remplies par ces réserves: source de lipides pour la formation des œufs pendant la période de reproduction (Krapu 1981, Alisauskas et Ankney 1992, Esler et Grand 1994), source d'énergie pendant la migration (Blem 1980, Whittow 1986a, Gill 1995) et durant les périodes de rareté de la nourriture (Hanson 1962) et finalement, pour l'isolation (Whittow 1986b). Au cours de la période de reproduction, les protéines, agissent comme facteur limitant de la taille de la couvée chez plusieurs femelles qui nichent dans les régions tempérées ou arctiques de l'Amérique du nord (Ankney et al. 1991, Drobney 1991, Mann et Sedingner 1993).

La meilleure façon de quantifier les réserves nutritives accumulées par les oiseaux est de déterminer la quantité de graisses de la carcasse entière par une extraction lipidique à l'éther de pétrole (Dobush et al. 1985, Jonhson et al. 1985, Ringelman et Szymczak 1985,

Miller 1989, Gauthier et al. 1992, Harder et Kirkpatrick 1994, Dabbert et al. 1997).

Toutefois, la détermination du contenu en gras et en protéines de la carcasse par cette méthode s'avère longue, coûteuse et entraîne inévitablement le sacrifice des individus étudiés (Johnson et al. 1985). Des méthodes plus simples et impliquant un investissement monétaire moins élevé ont alors été développées pour prédire ces quantités de réserves à partir d'équations ou d'indices basées sur des mesures morphométriques (Johnson et al. 1985, Ringelman et Szymczak 1985, Miller 1989, Dabbert et al. 1997), en déterminant les quantités de graisses et de protéines contenues dans différents tissus (Chappell and Titman 1983, Whyte et Bolen 1984, Johnson et al. 1985, Hohman et Taylor 1986, Miller 1989, Smith et al. 1992, Dabbert et al. 1997), ou en mesurant le degré d'hydratation des carcasses animales (Child et Marshall 1970, Campbell et Leatherland 1980, Johnson et al. 1985, Miller 1989). Bien qu'étant rapides et relativement peu coûteuses, ces techniques nécessitent néanmoins le sacrifice des animaux.

Les analyses biochimiques sanguines offrent, quant à elles, d'intéressantes possibilités pour l'évaluation de l'état nutritionnel des individus (Harder et Kirkpatrick 1994). On note qu'un nombre considérable de valeurs existent sur les paramètres sanguins du canard colvert (*Anas platyrhynchos*) (Donham 1979, Franson 1982, Altman 1986, Fairbrother et al. 1990, Fairbrother et O'Loughlin 1990, Olsen 1994) et du canard noir (*Anas rubripes*) (Mulley 1979, Franson 1982). Toutefois, très peu d'études relient ces paramètres sanguins à l'état physiologique (nutritionnel et/ou reproducteur) (Ksiazkiewicz et al. 1993, Dabbert et al. 1997) et aucune n'a permis d'établir une équation permettant

d'estimer les réserves nutritives. Il n'existe de plus aucune étude des paramètres sanguins chez le canard pilet.

Les canards qui séjournent dans les environs du lac Saint-Pierre au printemps proviennent des états de la côte est américaine, principalement de la Caroline du Nord, de la Caroline du Sud et de la Floride, en suivant le couloir de migration de l'Atlantique (Bellerose 1980). La halte migratoire de Saint-Barthélemy, la deuxième en importance le long du St-Laurent, est fréquentée par plus de 10 000 canards barboteurs, dont 80 % de canards pilets, et se retrouve au centre de la voie de migration de l'Atlantique (Ministère de l'Environnement et de la Faune 1989). Cette aire de repos et d'alimentation est présumée être un habitat printanier de qualité élevée et très riche en ressources alimentaires (Bourgeois 1994). Cette halte migratoire doit permettre aux oiseaux de reprendre des forces en récupérant les éléments nutritifs essentiels perdus au cours de leur migration vers les aires de reproduction (Olsen 1994, Austin et Miller 1995) ainsi que les protéines nécessaires à la production des oeufs (Alisauskas et Ankney 1992, Krapu et Reneicke 1992, Esler et Grand 1994). Des aménagements qui visent à garantir l'utilisation de la plaine d'inondation par la sauvagine au printemps ont été réalisés par les partenaires du Plan nord-américain de gestion de la sauvagine. Ils permettent aux canards d'accéder plus facilement à la ressource alimentaire. Le projet avait pour objectif de tenter de pallier aux baisses d'effectifs qu'ont connu les populations de canards pilets depuis les 50 dernières années (Fredrickson et Heitmeyer 1991). Afin de pouvoir vérifier si la halte migratoire répond aux besoins des canards pilets, il était nécessaire de développer une méthode rapide et fiable afin de déterminer leur condition physiologique au printemps et pour mesurer

ultérieurement les impacts des aménagements effectués dans cet habitat. Il fallait pour cela trouver des indicateurs biochimiques sanguins permettant de révéler l'état nutritionnel des canards pilets. De plus, la mesure de la créatine kinase sanguine (CK), sera utilisée pour tenter de caractériser l'état d'épuisement musculaire des canards pilets suite au vol migratoire intensif. La CK est une enzyme présente uniquement dans le cytoplasme des cellules musculaires du cœur et des muscles; elle catalyse la phosphorylation réversible de la créatine phosphate qui est la principale source de phosphate riche en énergie utilisée lors des contractions musculaires (Letellier et Daigneault 1983). L'augmentation de la CK révèle généralement des lésions musculaires attribuables à un traumatisme ou un effort important tel qu'un exercice intense récent (Letellier et Daigneault 1983). La CK et les divers indicateurs biochimiques sanguins qui informeront sur la condition des individus pourraient ensuite être utilisés pour évaluer la condition des individus sans devoir les sacrifier.

Cette étude a pour but de vérifier si la condition physiologique des canards pilets s'améliore durant leur séjour printanier à Saint-Barthélemy. Plus spécifiquement, nous voulons: (1) déterminer la performance de différents indices d'estimation de la condition physiologique (2) estimer l'état d'épuisement des canards suite au vol migratoire (3) utiliser certains paramètres biochimiques sanguins pour prédire le statut (état) nutritionnel sans devoir sacrifier l'animal.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site de l'Étude

Le travail sur le terrain s'est effectué du 14 avril au 9 mai 1997 à la halte migratoire de Saint-Barthélemy, située sur la rive nord du lac Saint-Pierre (fleuve Saint-Laurent), Québec, Canada ($46^{\circ} 11' \text{ N}$; $73^{\circ} 08' \text{ W}$). Cette aire de repos est constituée de terres agricoles inondées par la crue printanière. L'arrêt migratoire, qui dure environ 5 semaines, coïncide avec une disponibilité élevée de la nourriture recherchée par les canards pilets (graines et invertébrés) (Fredrickson et Heitmeyer 1991).

Récolte des Échantillons

En début de journée, 57 canards (30 mâles et 27 femelles) s'alimentant et choisis au hasard ont été abattus au sol, du 14 avril au 9 mai 1997, à l'aide d'une carabine de calibre .22, par des employés du Ministère de l'Environnement et de la Faune. Les oiseaux ont immédiatement été identifiés et pesés au gramme près à l'aide d'une balance à plateau. Le sang (5 à 10 ml) a été recueilli par ponction intra-cardiaque (Donham 1979, Hannon 1979), dans un tube de verre sans anti-coagulant de marque Vacutainer (Vacutainer®, Becton-Dickinson, Rutherford, New Jersey 07070, USA). Tous les échantillons de sang ont été gardés à 4°C et à l'obscurité jusqu'au moment de l'analyse. Le jabot et le gésier ont, par la suite, été retirés ainsi que les follicules ovariens, chez les femelles. Ces organes ont été exclus des analyses de carcasses. Le jabot et le gésier ont été utilisés dans le cadre d'une étude sur l'alimentation menée parallèlement. Les carcasses ont été gardées au congélateur (-30°C) dans des sacs de plastique hermétiquement fermés.

Quantité de Réserves Énergétiques

Au laboratoire, toutes les carcasses congelées ont été rasées à l'aide d'un rasoir pour animaux; les plumes restantes ont été coupées aux ciseaux. Les carcasses ont été pesées de nouveau (POIDS CONGELÉ) avant d'être coupées en morceaux puis broyées deux fois à l'aide d'un moulin à viande de marque Hobart afin d'homogénéiser la carcasse. Le pourcentage d'eau (% EAU) est calculé à partir d'un sous-échantillon de 100 grammes d'homogénat qui a été lyophilisé puis pesé. Ce pourcentage d'eau est multiplié par le POIDS CONGELÉ afin d'obtenir la quantité d'eau (EAU) de la carcasse et le poids de la CARCASSE DÉSHYDRATÉE (POIDS CONGELÉ moins EAU). L'échantillon lyophilisé a ensuite été finement moulu dans un moulin à haute vitesse. Deux réplicats d'environ 1 g de cette poudre ont été pesés sur une balance analytique avant d'être soumis à l'extraction lipidique à l'éther de pétrole, selon la méthode utilisée par Gauthier et al. (1992). La quantité de graisses dans ces réplicats permet de déterminer le pourcentage de gras de la masse sèche et, par conséquent, le pourcentage de gras de la carcasse déshydratée. La moyenne du pourcentage de gras de la carcasse déshydratée est multipliée par le poids de la carcasse déshydratée afin d'obtenir la quantité de graisses (GRAISSES) dans la carcasse. Le contenu en minéraux est déterminé en pesant les CENDRES obtenues après l'incinération à 550 °C pendant 12 heures d'un sous-échantillon lyophilisé (de 2 à 3 g) et en rapportant cette quantité pour le poids de la carcasse déshydratée. La quantité de protéines (PROTÉINES) est calculée selon la formule suivante: CARCASSE DÉSHYDRATÉE – (GRAISSES + CENDRES) (Miller 1989; Dabbert et al. 1997).

Définition des Indices

Pour chaque canard, six indices différents ont été calculés. Les indices sont généralement constitués du ratio de la quantité de graisses ou de protéines sur une variable qui représente la taille structurale. Les indices sont utilisés pour corriger les mesures de graisses et de protéines des individus pour leur taille structurale. (Ringelman et Szymczak 1985, Dabbert et al. 1997).

Le pourcentage d'eau a été préalablement déterminé

$$(1) \% \text{ EAU}$$

L'indice lipidique (Indice lip.) est obtenu par la formule suivante:

$$(2) \text{ Indice lip.} = \text{GRAISSES} / (\text{CARCASSE DÉSHYDRATÉE} - \text{GRAISSES})$$

Un indice de condition basé sur l'indice lipidique (IC_L) a été développé par Johnson et al. (1985) pour la grue du Canada (*Grus canadensis*) et a été par la suite utilisé pour le canard pilet (Smith et al. 1992). Il est calculé de la façon suivante:

$$IC_L = \log (\text{Indice lipidique} + 1)$$

Son expression est développée comme suit:

$$IC_L = \log \left\{ \frac{\text{CARCASSE DÉSHYDRATÉE}}{(\text{CARCASSE DÉSHYDRATÉE} - \text{GRAISSES})} \right\}$$

ou encore:

$$(3) \text{ IC}_L = \log \{ (\text{PROTÉINES} + \text{GRAISSES} + \text{CENDRES}) / (\text{PROTÉINES} + \text{CENDRES}) \}$$

Cet indice de condition présume que la condition physiologique des canards est fonction de leurs réserves de graisses et que les protéines corporelles totales et les cendres varient peu. Cependant, si les réserves de gras demeurent constantes et que ce sont les protéines qui constituent les réserves énergétiques, l'indice de condition proposé par Johnson et al. (1985) n'est plus valable (Dabbert et al. 1997). Nous proposons donc une variation de cet indice de condition en remplaçant le dénominateur de l'expression précédente par la somme du poids des graisses et des cendres (GRAISSES + CENDRES). Le nouvel indice de protéines (IC_P) est alors calculé par la formule suivante:

$$(4) \text{ IC}_P = \log \{ (\text{PROTÉINES} + \text{GRAISSES} + \text{CENDRES}) / (\text{GRAISSES} + \text{CENDRES}) \}$$

Par ailleurs, un indice de protéines a été proposé par Dabbert et al. (1997):

$$(5) \text{ IP}_D = \text{GRAISSES} / \text{CENDRES}$$

Ces auteurs suggèrent un deuxième indice lipidique qui est calculé de la manière suivante:

$$(6) \text{ IL}_D = \text{PROTÉINES} / \text{CENDRES}$$

Paramètres Sanguins Utilisés

Plusieurs paramètres sanguins pouvant indiquer l'état nutritionnel et l'état d'épuisement musculaire ont été envisagés dès le début. Après des recherches plus approfondies (voir Amand 1986, Hochleithner 1994) et des essais en laboratoire sur des spécimens prélevés au printemps 1996, les paramètres qui ont été retenus sont les suivants: acide gras libres (AGL), albumine (ALB), acide urique (AU), calcium total (CA), cholestérol (CH), sodium (NA), potassium (K), chlore (CL), glucose (GLU), protéines totales (PT), triglycérides (TRI), hormone thyroïdienne T₄ libre (FT₄), créatine kinase (CK), acide lactique (ACL), et acide hydroxybutyrique (AHB).

Analyses biochimiques

Les analyses biochimiques sériques suivantes ont été effectuées à l'aide d'un analyseur chimique automatique Hitachi 704 de Boehringer Mannheim GmbH, (Mannheim, Germany) et en utilisant les réactifs et les procédures fournis par la compagnie: albumine (Doumas et al. 1971), créatine kinase (EC 2.7.3.2) (Szasz et al. 1976, Gruber 1978), protéines totales (méthode proposée par Boehringer Mannheim), acide gras libres (Shimizu et al. 1980), cholestérol (Siedel et al. 1983, Kattermann et al. 1984, Trinder 1969), triglycérides (Siedel et al. 1993, Trinder 1969), hydroxybutyrate (Bergmeyer et Bernt 1965), acide urique méthode proposée par Boehringer Mannheim), calcium total (Gindler and King 1972), glucose (méthode proposée par Boehringer Mannheim) et lactate (mesuré sans déprotéinisation, méthode modifiée selon Noll 1974).

Les électrolytes sériques suivants: sodium, potassium, chlore, ont été mesurés à l'aide des électrodes sélectives aux ions de Boehringer Mannheim pour l'analyseur chimique Hitachi 704. La thyroxine libre (FT₄) a été mesurée à l'aide de l'analyseur automatique Elecsys® 1010 de Boehringer Mannheim et en utilisant les réactifs et la méthode préconisée par la compagnie. La mesure de FT₄ se fait par des tests d'électrochimiluminescence (ECLIA) adaptés aux dosages immunologiques sur les analyseurs Elecsys 1010.

Toutes les analyses biochimiques ont été faites en simple exemplaire pour chaque animal à cause des faibles quantités de sang recueillies (1 à 2 ml).

Analyses statistiques

En raison des nombreuses différences physiologiques entre les mâles et les femelles lors de la période de pré-reproduction (qui coïncide avec leur arrêt à la halte migratoire), les données se rapportant à ces deux groupes ont été traitées séparément (Dabbert et al. 1997). La normalité des distributions a été testée pour toutes les variables. La transformation logarithmique a permis de normaliser la distribution des acides gras libres (AGL), du potassium (K), de la créatine kinase (CK), et de l'acide lactique (ACL). Cependant, la corrélation de rang de Spearman (Zar 1984, Bart et Notz 1994) a été employée dans les cas suivants:

- 1) lors de la relation entre les différentes composantes corporelles (graisses, protéines, eau, cendres) et la date afin de déterminer si les composantes varient pendant le séjour des canards à Saint-Barthélemy

- 2) dans la relation entre les différents indices calculés et les réserves énergétiques accumulés (graisses et protéines) pour évaluer si les indices sont de bons estimateurs des réserves énergétiques
- 3) pour établir la relation entre les paramètres biochimiques sanguins, qui sont indépendants entre eux, et les réserves énergétiques (graisses, protéines) ou avec les indices qui leur sont associés et ainsi tenter de les estimer à partir des paramètres biochimiques sanguins.

La différence entre l'activité enzymatique de la CK des canards des quatre semaines a été déterminée à l'aide d'un test non paramétrique de comparaison multiple de Kruskal Wallis (K.-W.).

Afin de proposer une équation pour l'estimation des réserves corporelles à l'aide de paramètres non-invasifs, le poids frais ainsi que les paramètres biochimiques sanguins mesurés ont été utilisés comme variables indépendantes dans les analyses de régression multiple (*stepwise; backward*) des réserves énergétiques qui leurs sont associées (Bart et Notz 1994). Les variables présentant une autocorrélation ont été exclues de l'analyse. Le logiciel utilisé a été SYSTAT™ (Geissler 1988, White et Clark 1994).

RÉSULTATS

Dynamique des Réserves Nutritives

Les canards pilet mâles et femelles ont montré une augmentation significative (mâles: $r_s = 0.471$; $P < 0.01$ et femelles: $r_s = 0.721$; $P < 0.001$) de leur masse corporelle

durant leur séjour à la halte migratoire de Saint-Barthélemy (figure 1). Pendant cette période, la quantité de protéines corporelles totales a augmenté pour les mâles ($r_s = 0.737$; $P < 0.001$) et pour les femelles ($r_s = 0.459$; $P < 0.05$; figure 3). Cependant, on n'observe pas de variation ($P > 0.05$) des quantités de graisses corporelles totales et de la teneur corporelle en eau, tant chez les mâles que chez les femelles (figures 2 et 4). Les femelles ont démontré une augmentation significative ($r_s = 0.384$; $P < 0.05$) de la quantité de cendres durant leur arrêt à la halte migratoire (figure 5).

Estimation des Réserves - Indices

Les relations entre les différents indices et les réserves énergétiques (graisses et protéines) varient en fonction du sexe (tableau 1). Chez les mâles, les coefficients de corrélation les plus élevés sont obtenus avec l'IL_D pour les graisses ($r_s = 0.896$; $P < 0.001$) et avec l'IP_D pour les protéines ($r_s = 0.866$; $P < 0.001$). Chez les femelles, la plus forte corrélation significative avec les protéines est obtenue avec l'IC_P ($r_s = 0.819$; $P < 0.001$). Les coefficients de corrélation obtenus entre les graisses et l'IC_L ($r_s = 0.882$; $P < 0.001$) et entre les graisses et l'IL_D ($r_s = 0.877$; $P < 0.001$) des femelles sont élevés, mais l'indice lipidique montre un coefficient de corrélation supérieur ($r_s = 0.886$; $P < 0.001$; tableau 1). Les coefficients obtenus avec le poids frais, l'indice lipidique et le % d'eau sont toutefois, pour la plupart, moins élevés qu'avec les autres indices.

Estimation des Réserves –Paramètres Biochimiques Sanguins

La concentration sérique de l'acide urique (AU) est le seul paramètre biochimique qui montre une corrélation significative avec les réserves lipidiques et les indices associés

aux graisses (IC_L et IL_D) chez les mâles (tableau 2). Les réserves de protéines et les indices IP_D et IC_P montrent une corrélation significative avec l'AU, le calcium total (CA) et les électrolytes (NA, K et CL). Pour l' IC_P , il n'y a pas de corrélation significative avec NA et K. Les paramètres biochimiques sanguins qui varient chez les femelles avec les protéines et les différents indices reliés aux protéines sont l'albumine (ALB), l'acide hydroxybutyrique (AHB) et le CA (tableau 3). Le CA montre un coefficient de corrélation significatif ($r_s = 0.392$; $P < 0.05$) avec les protéines, mais il est plus faible que les deux premiers. L'AGL (acides gras libres) est le seul paramètre qui montre une relation significative avec les graisses ($r_s = -0.452$; $P < 0.05$; tableau 3).

L'analyse de régression multiple a mené à l'élaboration des équations permettant d'estimer les quantités de protéines et de graisses corporelles totales chez les mâles à partir du poids frais, de l'acide urique (AU) et du calcium total (CA) (tableau 4). Chez les femelles, le poids frais, l'acide hydroxybutyrique (AHB) ainsi que le cholestérol (CH) sont les variables indépendantes retenues pour l'équation qui permet d'estimer la quantité de protéines. Une équation servant à estimer les graisses a également été développée pour les femelles à partir du poids frais et de l'AHB, mais le coefficient de détermination est faible ($r^2 = 0.31$).

Épuisement

L'activité enzymatique de la CK sérique des canards pilets à Saint-Barthélemy est plus élevée pour les canards de la deuxième semaine d'échantillonnage (K.W. $P < 0,001$; figure 6) pouvant alors atteindre une valeur maximale de 15 210 U/L. Les valeurs de

l'activité de la CK sérique ne semblent pas être dépendant du mode d'abattage ni de la durée de l'agonie de l'animal. En effet, les canards qui ne sont pas morts immédiatement présentaient des valeurs de CK relativement faibles (observations personnelles).

DISCUSSION

Dynamique des Réserves Nutritives

Le poids frais moyen des canards pilets mâles (1115 ± 103 g) et femelles (971 ± 86 g) qui ont séjourné à Saint-Barthélemy au printemps 1997 se situe au dessus de la limite supérieure des valeurs moyennes rapportées pour cette espèce (746 à 1111 g pour les mâles et 601 à 860 g pour les femelles) (Palmer 1976, Fredrickson et Heitmeyer 1991, Olsen 1994). Cela indique que le poids des canards pilets peut présenter de fortes variations pouvant atteindre jusqu'à 400 g chez les mâles.

L'augmentation du poids frais des canards pilets durant leur séjour à Saint-Barthélemy suggère que des réserves nutritives sont emmagasinées pendant cette période. La prise de poids n'est toutefois pas due à une augmentation de la quantité de graisses; ces dernières demeurent stables pendant le séjour des canards pilets au lac Saint-Pierre. Cette stabilité résulterait d'un bilan nul entre la quantité de lipides absorbés et produits et la quantité de lipides endogènes utilisés comme source énergétique. On peut alors croire que l'apport alimentaire est suffisant pour empêcher que les canards aient besoin de puiser à même leurs réserves internes pour combler leurs différents besoins énergétiques. Le fait que les graisses ne soient pas non plus accumulées malgré un milieu riche en nourriture

potentielle pour les canards pilets (Ministère de l'Environnement et de la Faune 1989) suggère que ces oiseaux ne font pas de réserves supplémentaires de graisses en vue de poursuivre la migration.

La dynamique des réserves nutritives des canards pilets à Saint-Barthélemy n'a pas montré la même tendance que celle observée par Gauthier et al. (1992) pour la grande oie des neiges (*Chen caerulescens atlantica*). En effet, contrairement aux canards pilets à Saint-Barthélemy, les oies étudiées accumulent des réserves de graisses durant leur séjour le long du Saint-Laurent (Gauthier et al. 1992). Les réserves de graisses sont ultérieurement utilisées pour terminer la migration printanière jusqu'à leurs sites de nidification (Gill 1995) et pour assurer la reproduction (Murphy et Boag 1989). Ces oies nichent sur l'Île Bylot dans le Haut-Arctique, au nord du cercle polaire, beaucoup plus au nord que les canards pilets et ont donc une plus longue migration à effectuer (Bellerose 1980).

L'augmentation du contenu en protéines des carcasses de canards pilets témoigne de l'augmentation de la masse musculaire des individus car les protéines totales sanguines n'ont pas montré de variation dans le temps (données non publiées). L'augmentation rapide de la masse musculaire résulte possiblement d'un mécanisme particulier et serait sous contrôle hormonal. Cette augmentation peut être une conséquence du vol migratoire qui précède l'arrivée des canards à Saint-Barthélemy suite à l'utilisation intense des muscles pour le déplacement de ces oiseaux. Elle peut aussi constituer une adaptation des oiseaux pour compenser l'accumulation de réserves de graisses nécessaires aux besoins futurs comme la poursuite de la migration (Marsh 1984) pour les couples qui se rendront

jusqu'aux aires de nidifications situées plus au nord. L'hypertrophie musculaire peut également être reliée à la reproduction (Alisauskas et Ankney 1992, Esler et Grand 1994), ou même à la mue (Ankney 1979), les plumes étant principalement constituées de protéines.

Bien que les oiseaux ne peuvent généralement pas stocker de protéines sous forme concentrée et labile (Krapu et Reinecke 1992), certains tissus tels que les pattes et la peau contiennent beaucoup de protéines. Par ailleurs, l'augmentation de la masse musculaire (hypertrophie musculaire) durant la période précédant la migration a déjà été observée chez le moqueur chat (*Dumetella carolinensis*) (Marsh 1984). Chez ces oiseaux, le poids du muscle pectoral a montré une augmentation de 35 % en moyenne au cours de la période précédant la migration (Marsh 1984).

À Saint-Barthémemy, l'augmentation dans le temps de la quantité de protéines observée chez les canards pilets indique que le milieu fournit les éléments nutritifs en quantité et en qualité suffisantes pour ces oiseaux. En raison du fait que les canards doivent trouver dans la diète plusieurs acides aminés essentiels pour fabriquer des protéines, ces réserves prendraient plus de temps pour être constituées que les graisses (Drobney 1982). La synthèse des protéines entraînant une grande dépense d'énergie (Horton et al. 1994) et leur accumulation témoigne de la qualité des éléments nutritifs fournis par l'alimentation. La stabilité des graisses corporelles appuient cet hypothèse car les canards pilets n'ont pas besoin de puiser à même leurs réserves lipidiques. Lorsque l'alimentation ne suffit pas à combler la demande énergétique, les réserves de gras sont utilisées en premier (Whyte et

Bolen 1984). La halte migratoire permet d'augmenter la masse musculaire sans affecter les réserves de graisses endogènes des canards pilets.

Les femelles qui séjournent à Saint-Barthélemy ont montré des signes évidents de l'approche de la ponte. En plus du développement de leurs follicules ovariens qui ont atteint jusqu'à 34 mm de diamètre en 1996 et 17 mm en 1997 (Dombrowski et al., données non publiées), ces femelles ont montré, pendant leur séjour à Saint-Barthélemy, une augmentation significative de la quantité de cendres révélée lors de l'analyse des composantes de la carcasse. Cette augmentation des cendres est due essentiellement à l'augmentation de la masse osseuse, principalement constituée de calcium (Ankney et MacInnes 1978, Barzen et Serie 1990). Ceci peut être expliqué par une accumulation de calcium dans les os long des femelles en prévision de la calcification des œufs (Johnson 1986, Joyner 1994). Les femelles pilets capturées en Alaska par Esler et Grand (1994) avaient montré une corrélation entre la quantité de cendres et le poids corporel.

Estimation des Réserves –Indices

Les indices de condition habituels (poids frais, indice lipidique et pourcentage d'eau) ne sont pas les meilleurs estimateurs pour prédire les réserves énergétiques printanières des canards pilets à Saint-Barthélemy, comme en témoignent les coefficients de corrélations obtenus entre les réserves énergétiques et ces indices de condition. Pourtant, le poids frais avait démontré un coefficient de corrélation élevé avec les graisses des canards pilets au Texas ($r = 0.84$) (Smith et al. 1992) et en Californie ($r = 0.79$) (Miller 1989) et un coefficient similaire ($r = 0.84$) avec les protéines (Miller 1989). Pour estimer

les réserves lipidiques, le pourcentage d'eau avaient donné des coefficients de corrélation encore plus élevés de 0.96 pour les femelles et 0.97 pour les mâles (Miller 1989).

L'explication la plus probable de cette différence dans les résultats réside dans le type de réserves accumulées par ces oiseaux. Dans le cas des canards pilets étudiées par ce chercheur, les réserves qui présentaient une variation étaient les graisses. Le calcul du pourcentage d'eau et de l'indice lipidique habituel implique une certaine stabilité du dénominateur qui fait intervenir les protéines. Toutefois, les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy montrent une augmentation des protéines dans le temps alors que les graisses ne varient pas. Ces indices traditionnels ne sont donc pas appropriés pour prédire efficacement les réserves nutritives printanières des canards pilets à Saint-Barthélemy. De plus, ils nécessitent le sacrifice inévitable des canards.

Les indices de conditions usuels avaient pourtant donné de bons résultats pour d'autres espèces. En effet, Whyte et Bolen (1984) avaient obtenu un coefficient de corrélation significatif ($r = 0.70$; $p < 0.05$) entre les réserves de graisses et le poids frais chez les canards colverts (*Anas platyrhynchos*) au Texas en hiver, alors que Ringelman et Szymczak (1985) ont obtenu un coefficient de corrélation de 0.676 pour la même espèce. Dans le cas du fuligule à collier (*Aythya collaris*), le coefficient de corrélation était presque aussi élevé ($r = 0.65$) (Hohman et Taylor 1986). Johnson et al. (1985) avaient même obtenu un coefficient de corrélation de 0.843 entre les graisses et le poids frais pour l'oie rieuse (*Anser albifrons*). En ce qui concerne l'indice lipidique, les résultats obtenus par Johnson et al. (1985) avaient montré un coefficient de corrélation de 0.697. Le % d'eau avait montré

un corrélation élevée avec les graisses ($r = 0.902$) et avec l'indice lipidique ($r = 0.926$) chez l'oie rieuse au Nebraska (Johnson et al. 1985).

La performance des indices calculés (IC_L , IC_P , IL_D , IP_D) pour estimer les réserves nutritives des canards pilets à Saint-Barthélemy varie selon le sexe des canards et selon le type de réserves. Les coefficients de corrélations obtenus à l'aide de ces indices sont élevés (autour de 0.8 et 0.9). La mesure de ces indices requiert toutefois le sacrifice des canards.

À Saint-Barthélemy, les indices qui expliquent le mieux les variations de graisses et de protéines chez les canards pilet mâles s'avèrent être les indices développés par Dabbert et al. (1997) (IL_D et IP_D). Pour les femelles, l'indice lipidique traditionnel et l'indice de condition basé sur les graisses sont les meilleurs indicateurs des réserves de graisses. Les protéines corporelles sont les mieux estimées par l'indice de condition basé sur les protéines (IC_P) que nous avons développé.

Dans le calcul des indices de condition, le dénominateur de la formule joue un rôle important qui est celui de corriger les différences structurales entre les individus (ex. masse osseuse, masse musculaire) afin de faire ressortir les différences dans l'accumulation des réserves (en général, les graisses). Toutefois, si les réserves nutritives sont plutôt constituées de protéines, le dénominateur doit être choisi en conséquence.

Le poids maigre de la carcasse (sans le gras) est souvent utilisé pour corriger les différences structurales lors du calcul des indices de condition (Johnson et al. 1985;

Ringelman et Szymczak 1985). Toutefois, si les quantités de protéines varient, le poids de la carcasse sans gras ne sera pas approprié pour refléter la taille structurale (Dabbert et al. 1997). Le volume ou la masse squelettique pourrait être un indicateur plus approprié de la taille, du moins chez les mâles, car, au contraire des femelles, la densité de leurs os ne varie pas pendant la reproduction.

L'efficacité des indices de condition reliés aux protéines a été démontrée pour les canards pilets mâles à Saint-Barthélemy. Ces indices peuvent permettre de suivre l'accumulation de protéines au printemps chez les mâles. Pour les femelles, les changements physiologiques internes reliés à l'approche de la ponte (développement des follicules ovariens) pourraient expliquer l'impossibilité de suivre les variations des réserves de protéines, bien que celles-ci soient accumulées durant le séjour à la halte migratoire de Saint-Barthélemy. Pendant la période de reproduction, le développement des organes reproducteurs ainsi que l'augmentation de la masse osseuse reliée à l'accumulation de calcium en prévision de la calcification de l'œuf (Johnson 1986) ajoute un biais dans la relation entre le poids frais et la composition de la carcasse (Miller 1989). La correction pour les différences structurales entre les femelles devrait plutôt être réalisée à partir de mesure qui ne sont pas influencées par la reproduction comme par exemple la longueur de l'aile (Whyte et Bolen 1984, Ringelman et Szymczak 1985). Ces chercheurs avaient d'ailleurs proposé une équation permettant d'estimer les graisses à partir du poids frais et de la longueur de l'aile chez les canards colverts.

Pour effectuer des analyses intraspécifiques qui ont pour but de déterminer la contribution des réserves nutritives à la production des œufs, à la migration ou au métabolisme basal, il est préférable d'employer les quantités de réserves déterminées par les analyses en laboratoire (Johnson et al. 1985). L'utilisation d'indices (ex. indice lipidique) est plutôt suggérée lorsqu'il s'agit d'établir des comparaisons entre individus d'âge ou de sexe différents ou entre des groupes taxonomiques dont la taille est différente (Johnson et al. 1985). Lors du choix de l'indice, il est donc important de tenir compte du sexe et du type de réserves à prédire.

Estimation des Réserves Énergétiques –Paramètres Biochimiques Sanguins

En comparant les résultats obtenus pour les différents paramètres biochimiques sanguins avec ceux rapportés par Dabbert et al. (1997), nous pouvons conclure que, pris individuellement, chaque paramètre n'offre pas la possibilité d'estimer efficacement les réserves nutritives. Chez les canards pilets, peu de ces paramètres sanguins montrent des corrélations significatives avec les réserves ou les indices. De plus, les coefficients de corrélation significatifs sont faibles. Dabbert et al. (1997) n'avaient d'ailleurs obtenus qu'un seul coefficient de corrélation significatif ($r = 0.570$; $P = 0.007$), permettant d'estimer la quantité de graisses pour les canards colverts mâles à partir des triglycérides sanguins.

En combinant différents paramètres sanguins avec la mesure du poids frais, il est possible d'estimer les réserves nutritives des canards pilets sans devoir sacrifier les individus. Les coefficients de corrélations multiples obtenus avec les équations apportées par les analyses de régression multiples sont même comparables à ceux obtenus avec les

indices de conditions calculés, sauf pour le cas de l'estimation des réserves de graisses chez les femelles pilets ($r^2 = 0.31$). Cette faiblesse peut résulter d'un biais négatif associé à la reproduction des femelles. En effet, les follicules ovariens, riches en lipides, n'ont pas été inclus dans l'analyse des composantes de la carcasse, ce qui contribue à sous-évaluer la quantité totale de graisses des femelles.

Les paramètres biochimiques sanguins qui doivent être inclus dans les équations servant à suivre les changements dans les quantités de réserves énergétiques sont différents selon le sexe. Chez les mâles, l'acide urique et le calcium total sérique, sont les deux seuls paramètres biochimiques qui ont été retenus par l'analyse de régression multiple effectuée pour prédire la quantité de protéines et de graisses. La constante "acide hydroxybutyrique", qui montre une relation significative avec tous les indices et avec les protéines des femelles, fait partie des deux équations permettant d'estimer les réserves protéiques et lipidiques de celles-ci.

Ksiazkiewicz et al. (1993) n'avaient pas trouvé de relation entre le niveau de cholestérol sanguin et les dépôts graisseux chez les canards colverts mâles et expliquent ce fait par la faible teneur en gras de la carcasse. À l'inverse, des corrélations significatives avaient été obtenues chez les femelles entre le cholestérol et gras abdominal ($r^2 = 0.23$) et entre le gras intestinal ($r^2 = 0.15$) et le cholestérol.

Les paramètres biochimiques sanguins peuvent procurer un indice des réserves nutritives qui soit moins influencé par la taille de l'animal (Dabbert et al. 1997). Cependant,

les équations qui ont été développées ici pour estimer les réserves nutritives des canards pilets à Saint-Barthélemy devraient être validées sur un échantillon indépendant avant de pouvoir être employées pour d'autres populations ou d'autres espèces.

Épuisement

Les canards pilets qui ont été abattus à la halte migratoire pendant la première semaine d'échantillonnage pourraient ne pas arriver de très loin. Les résultats obtenus avec la créatine kinase sérique (CK) indiquent que ces canards ne montraient pas de signe d'épuisement musculaire normalement observé chez des oiseaux qui ont effectué un long vol migratoire ou une activité physique intense.

En complément, les observateurs d'oiseaux migrants avaient noté que plusieurs canards pilets se rassemblent à la halte migratoire de Baie-du-Febvre située sur la rive sud du lac Saint-Pierre avant de se rendre à Saint-Barthélemy. En effet, les terres agricoles qui se trouvent au sud du lac se retrouvent libres de glace environ une semaine avant les terres agricoles de la rive nord. Les premiers migrants profiteraient de cet habitat pour se reposer du vol migratoire. Ils verraient donc leur CK redescendre près des valeurs normales et arriveraient ainsi à Saint-Barthélemy sans montrer de signes d'épuisement musculaire.

Par ailleurs, la période d'agonie causée par le fait que certains individus ne sont pas morts immédiatement et se débattent avant d'être attrapés ne fait pas augmenter les valeurs de CK (observations personnelles). La période de repos nécessaire au retour à des valeurs normales est estimée à 48 heures (Hochleithner 1994). Peu de données sont disponibles sur

les valeurs normales de CK. Notons que Franson (1982) a trouvé des valeurs de CK de 265.1 ± 144.5 U/L (moyenne \pm écart type) dans le plasma de canards noirs (*Anas rubripes*). Pour le poulet domestique (*Gallus domesticus*), les valeurs varient entre 2.4 et 8.1 U/L (Mitruka et Rawnsley 1977) alors que les canards colverts sauvages ont un niveau moyen de CK de 265 U/L (Driver 1981). Même au cours de la dernière semaine de leur séjour à la halte de Saint-Barthélemy, les canards pilets ont montré des valeurs de CK plus élevées (entre 446 et 3800 U/L). Les valeurs de références de la CK chez le canard pilet sont inconnues. On ne peut donc comparer les valeurs mesurées à Saint-Barthélemy à des valeurs normales. Cependant, on peut supposer que les canards abattus pendant la quatrième semaine ont eu suffisamment de temps pour se reposer et que les valeurs de CK mesurées chez ces individus sont près des valeurs normales.

La théorie sur la migration des canards pilets en Amérique du Nord révèle que ces derniers utilisent plus d'un mode de migration au printemps (Bellerose 1980). Les faibles valeurs de CK mesurées pour les canards de la première semaine et les valeurs élevées de certains canards de la deuxième semaine suggère la présence de deux modes de migration pour les canards pilets qui séjournent à Saint-Barthélemy. Les premiers canards qui arrivent (semaine 1) effectueraient une migration par étapes, en suivant la progression de la fonte des neiges. Les canards pilets qui montrent des valeurs élevées de CK effectueraient quant à eux une migration sur de longues distances et n'aurait pas eu l'occasion de se reposer.

IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT

Les résultats de la présente étude indiquent que la plaine d'inondation de Saint-Barthélemy permet aux canards pilets qui y séjournent d'améliorer leur condition physiologique. En effet, cet arrêt migratoire procure aux canards un habitat dont les ressources nutritionnelles sont de bonne qualité et en quantité suffisante. Elles permettent à plusieurs canards pilets de prendre des forces après leur voyage vers le nord sans puiser dans leurs réserves internes de graisses. Le fait que ces dernières ne sont pas non plus emmagasinées par les canards pilets qui séjournent à Saint-Barthélemy indiquerait que ces canards en seraient donc à la dernière étape de la migration et que les femelles nicheraient dans la région du lac Saint-Pierre. L'importance de la halte pour la préparation à la ponte devra donc être documentée davantage.

Les relations établies à partir de paramètres biochimiques sanguins et de certaines caractéristiques morphologiques procurent une méthode d'estimation de la condition physiologique qui peut être réalisée sur des animaux vivants. Les résultats de notre étude pourront orienter les recherches visant à utiliser cette méthode en d'autres lieux et sur d'autres espèces.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le docteur Antoine Aubin (UQTR) pour ses commentaires sur les analyses statistiques et le personnel du Ministère de l'Environnement et de la Faune pour le support technique. Cette étude a été réalisée en partie grâce à la participation

financière de la Fondation Héritage Faune et de la Fondation de la Faune du Québec ainsi qu'aux bourses octroyées par la Fondation Universitaire du Centre du Québec et par l'UQTR. Ce manuscrit a bénéficié des commentaires formulés par Hélène Glémet et par Gilles Gauthier.

BIBLIOGRAPHIE

Alisauskas, R.T., et C.D. Ankney. 1992. The cost of egg laying and its relationship to nutrient reserves in waterfowl. Pages 30-61 *in* B.D.J. Batt et al., editors. Ecology and management of breeding waterfowl. University of Minnesota Press, Minneapolis, USA.

Altman, R.B. 1986. Clinical pathology. Pages 357-363 *in* M.E. Fowler, editor. Zoo and Wild Animal Medicine. Second edition. W.B Saunders, Philadelphia. PA.

Amand, W.B. 1986. Avian clinical hematology and blood chemistry. Pages 264-276 *in* M.E. Fowler, editor. Zoo and Wild Animal Medicine. Second edition. W.B Saunders, Philadelphia. PA.

Ankney, C.D. 1979. Does wing molt cause nutritional stress in snow geese? *Auk* 96: 68-72.

- _____, et A.D. Afton. 1988. Bioenergetics of breeding Northern Shovelers: diet, nutrient reserves, clutch size, and incubation. *Condor* 90: 459-472.
- _____, _____, et R.T. Alisauskas. 1991. The role of nutrient reserves in limiting waterfowl reproduction. *Condor* 93: 1029-1032.
- _____, et C.D. MacInnes. 1978. Nutrient reserves and reproductive performance of female lesser snow geese. *Auk* 95: 459-471.
- Austin, J.E., et M.R. Miller. 1995. Northern Pintail (*Anas acuta*). *in* A. Poole and F. Gill, editors. *The Birds of North America*, No. 163. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, and The American Ornithologists' Union, Washington, D.C.
- Bart, J. et W. Notz. 1994. Analysis of data. Pages 24-74 *in* T.A. Bookhout ed. *Research and management techniques for wildlife and habitats*. Fifth ed. The Wildlife Society, Bethesda, Md.
- Barzen, J.A., et J.R. Serie. 1990. Nutrient reserve dynamics of breeding canvasbacks. *Auk* 107: 75-85.
- Bellerose, F.C. 1980. *Ducks, Geese and Swans of North America*. Third edition. Stockpole Books, Harrisburg, PA.

- Bergmeyer, H.U., et E. Bernt. 1965. Enzymatische Bestimmung von Keton-Körpern im Blut. *Enzymol. Biol. Clin.* 5: 65-75.
- Blem, C.R. 1980. The energetics of migration. Pages 175-224 *in* S.A. Gauthreaux, editor. *Animal migration, orientation, and navigation*. Academic Press, New York, N.Y.
- Bourgeois, J.C. 1994. La halte migratoire du lac St-Pierre: un habitat d'importance internationale pour la sauvagine. *Québec Oiseaux* 5: 18-22.
- Campbell, R.R., et J.F. Leatherland. 1980. Estimating body protein and fat from water content in lesser snow geese. *Journal of Wildlife Management* 44: 438-446.
- Chappell, W.A., et R.D. Titman. Estimating reserve lipids in greater scaup (*Aythya marila*) and lesser scaup (*A. affinis*). *Canadian Journal of Zoology* 61: 35-38.
- Child, G.I., et S.G. Marshall. 1970. A method of estimating carcass fat and fat-free weights in migrant birds from water content of specimens. *Condor* 72: 116-119.
- Dabbert, C.B., T.E. Martin, et K.C. Powell. 1997. Use of body measurements and serum metabolites to estimate the nutritional status of mallards wintering in the Mississippi Alluvial Valley, USA. *Journal of Wildlife Disease* 33: 57-63.

- Dobush, G.R., C.D. Ankney, et D.G. Krementz. 1985. The effect of apparatus, extraction time, and solvent type on lipid extractions of snow geese. *Canadian Journal of Zoology*. 63: 1917-1920.
- Donham, R.S. 1979. Annual cycle of plasma luteinizing hormone and sex hormones in male and female Mallards (*Anas platyrhynchos*). *Biol. Reprod.* 21:1273.
- Doumas, B.T., W. Watson, et H.G. Biggs. 1971. Albumin standards and measurement of serum albumin with bromocresol green. *Clinical Chemistry Acta* 31: 87-96.
- Driver, E.A. 1981. Hematological and blood chemical values of mallard, *Anas p. platyrhynchos*, drakes before, during and after remige molt. *Journal of Wildlife Disease* 17: 413-421.
- Drobney, R.D. 1982. Body weight and composition changes and adaptations for breeding in Wood Ducks. *Condor* 84: 300-305.
- _____, 1991. Nutrient limitation of clutch size in waterfowl: is there a universal hypothesis? *Condor* 93: 1026-1028.
- Esler, D., et J.B. Grand. 1994. The role of nutrient reserves for clutch formation by northern pintails in Alaska. *Condor* 96: 422-432.

- Fairbrother, A., M.A. Craig, K. Walker, et D. O'Loughlin. 1990. Changes in mallard (*Anas platyrhynchos*) serum chemistry due to age, sex, and reproductive condition. *Journal of Wildlife Disease* 26: 66-67.
- _____, et D. O'Loughlin. 1990. Differential white blood cell values of the mallard (*Anas platyrhynchos*) across different ages and reproductive states. *Journal of Wildlife Disease* 26: 78-82.
- Franson, J.C. 1982. Enzyme activities in plasma, liver and kidney of black ducks and mallards. *Journal of Wildlife Disease* 18: 481-485.
- Fredrickson, L.H., et M.E. Heitmeyer. 1991. Life history strategies and habitat needs of northern pintail. *in* Waterfowl management handbook, Fish and Wildlife Leaflet 13.1.3, Washington, D.C.
- Gauthier, G., J. Bédard, J. Huot, et Y. Bédard. 1984. Spring accumulation of fat by Greater Snow Geese in two staging habitats. *Condor* 86: 192-199.
- _____, J.-F. Giroux, et J. Bédard. 1992. Dynamics of fat and protein reserves during winter and spring migration in greater snow geese. *Canadian Journal of Zoology* 70: 2077-2087.
- Geissler, P.H. 1988. Criteria for evaluating microcomputer statistical packages. U.S. Fish Wildlife Services Resources Info Bulletin 88-15. 2 p.

- Gill, F.B. 1995. Ornithology. Second edition. W.H. Freeman and Cie. New York.
- Gindler, E.M., and J.D. King. 1972. Rapid colorimetric determination of calcium in biologic fluids with methylthymol blue. *American Journal of Clinical Pathology* 58: 376-382.
- Griminger, P. 1986. Lipid metabolism. Pages 345-358 *in* P.D. Sturkie, editor. *Avian physiology*. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- _____, et C.G. Scanes. 1986. Protein metabolism. Pages 326-344 *in* P.D. Sturkie, editor. *Avian physiology*. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Gruber, W. 1978. Inhibition of creatine kinase activity by Ca^{2+} and reversing effect of ethylenediaminetetraacetate. *Clinical chemistry* 24: 177-178.
- Hannon, S.J. 1979. Plasma calcium as an indicator of reproductive condition in female blue grouse. *Journal of Wildlife Management* 57: 463-465.
- Hanson, H.C. 1962. The dynamics of condition factors in Canada geese and their relation to seasonal stresses. *Arc. Inst. North Am. Tech. Publ.* 12.

- Harder, J.D., et R.L Kirkpatrick. 1994. Physiological methods in wildlife research. Pages 275-306 *in* T.H. Bookhout, editor. Research and management techniques for wildlife and habitats. The Wildlife Society, Maryland.
- Hochleithner, M. 1994. Biochemistries. Pages 223-245 *in* B.W. Ritchie, G.J. Harrison et L.R. Harrison. Avian medicine: principle and application. Wingers Publishing, Florida.
- Hohman, W.L., et Taylor, T.S. 1986. Indices of fat and protein for ring-necked ducks. *Journal of Wildlife Management* 50: 209-211.
- Horton, H.R., L.A. Moran, R.S. Ochs, J.D. Rawn, et K.G. Scrimgeour. 1994. Principes de biochimie. De Boeck-Wesmael, Bruxelles.
- Johnson, A.L. 1986. Reproduction in the female. Pages 403-431 *in* P.D. Sturkie, editor. Avian physiology. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Johnson, D.H., G.L. Krapu, K.J. Reinecke, et D.G. Jorde. 1985. An evaluation of condition indices for birds. *Journal of Wildlife Management* 49: 569-575.
- Joyner, K.L. 1994. Theriogenology. Pages 748-804 *in* B.W. Ritchie, G.J. Harrison et L.R. Harrison. Avian medecine: principle and application. Wingers Publishing, Florida.

- Kattermann, R., D. Jaworek, G. Moller, G. Assmann, I. Bjorkhem, L. Svensson, K. Borner, G. Boerma, B. Leijnse, J.P. Desager, et al. 1984. Multicentre study of a new enzymatic method of cholesterol determination. *Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry* 22: 245-251.
- Krapu, G.L. 1981. The role of nutrient reserves in mallard reproduction. *Auk* 98: 29-38.
- _____, et K.J. Reinecke. 1992. Foraging ecology and nutrition. Pages 1-29 in B.D.J. Batt et al., editors. *Ecology and management of breeding waterfowl*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Ksiazkiewicz, J., H. Kontecka, et L. Nogowski. 1993. A note on blood cholesterol as an indicator of body fatness in ducks. *Journal of Animal and Feed Science* 1: 289-294.
- Letellier, G., et R. Daigneault. 1983. Principaux paramètres biochimiques dosés dans le sérum humain. Guérin éditeur, Montréal.
- Mann, F.E., et J.S. Sedinger. 1993. Nutrient-reserve dynamics and control of clutch size in Northern Pintails breeding in Alaska. *Auk* 110: 264-278.
- Marsh, R.L. 1984. Adaptations of the gray catbird *Dumetella carolinensis* to long-distance migration: flight muscle hypertrophy associated with elevated body mass. *Physiological Zoology* 57: 105-117.

- Miller, M.R. 1986. Northern pintail body condition during wet and dry winters in the Sacramento Valley, California. *Journal of Wildlife Management* 50:189-198.
- Miller, M.R. 1989. Estimating carcass fat and protein in northern pintails during the nonbreeding season. *Journal of Wildlife Management* 53: 123-129.
- Ministère de l'Environnement et de la Faune. 1989. Saint-Barthélemy/Saint-Joseph-de-Maskinongé: Plan d'acquisition d'habitats et d'aménagements fauniques (Résumé du Projet).
- Mitruka, B.M., et H.M. Rawnsley. 1977. Clinical biochemical and hematological reference values in normal experimental animals. Masson, Inc., New York, 272 pp.
- Mulley, R.C. 1979. Haematology and blood chemistry of the black duck (*Anas superciliosa*). *Journal Wildlife Disease* 15: 437-441.
- Murphy, A..J., et D.A. Boag. 1989. Body reserve and food use by incubating Canada geese. *Auk* 106: 439-446.
- Noll, F. 1974. Page 1521 *In* H.U. Bergmeyer, editor. *Methoden der enzymatischen Analyse*, Third ed. Tome II, Verlag Chemie, Weinheim.

Olsen, J.H. 1994. Anseriformes. Pages 1237-1275 *In* Avian Medicine: principles and application. Wingers Publishing, Florida.

Palmer, R.S. 1976. Handbook of North American birds : waterfowl (part 1 and 2). Yale University Press, New Haven, vol. 2, xi + 521 p.; vol. 3 vii + 560 p.

Raveling, D.G. 1979. The annual cycle of body composition of Canada geese with special reference to control of reproduction. *Auk* 96: 234-252.

_____, et M.E. Heitmeyer. 1989. Relationships of population size and recruitment of pintails to habitat conditions and harvest. *Journal of Wildlife Management* 53: 1088-1103.

Ringelman, J.K., et M.R. Szymczak. 1985. A physiological condition index for wintering mallards. *Journal of Wildlife Management* 49: 564-568.

Shimizy, S., Y. Tani, H. Yamada, M. Tabata, et T. Murachi. 1980. Enzymatic determination of serum-free fatty acids: a colorimetric method. *Analytical Biochemistry* 107: 193-198.

Siedel, J., R. Schmuck, J. Staepels, et M.-H. Town. 1993. Long term stable, liquid ready-to-use monoreagent for the enzymatic assay of serum or plasma triglycerids (GPO-PAP method). *AACC Meeting Abstract* 34, *Clinical Chemistry* 39: 1127.

- _____, E.O. Hagele, J. Ziegenhorn, et A.W. Wahlefeld. 1983. Reagent for the enzymatic determination of serum total cholesterol with improved lipolytic efficiency. *Clinical Chemistry* 29: 1075-1080.
- Smith, L.M., D.G. Sheeley, et D.B. Wester. 1992. Condition models for wintering northern pintails in the southern high plains. *Great Basin Naturalist* 52: 226-231.
- Szasz, G., W. Gruber, et E. Bernt. 1976. Creatine kinase in serum: 1. Determination of optimum reaction conditions. *Clinical chemistry* 22: 650-656.
- White, G.C. et W.R. Clark. 1994. Microcomputer applications in wildlife management and research. Pages 75-93 *in* T.A. Bookhout ed. *Research and management techniques for wildlife and habitats*. Fifth ed. The Wildlife Society, Bethesda, Md.
- Whittow, C.G. 1986a. Energy metabolism. Pages 253-268 *in* P.D. Sturkie, editor. *Avian physiology*. Fourth ed. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- _____. 1986b. Regulation of body temperature. Pages 221-252 *in* P.D. Sturkie, editor. *Avian physiology*. Fourth ed. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Whyte, R.J., et E.G. Bolen. 1984. Variation in winter fat depots and condition indices of mallards. *Journal of Wildlife Management* 48: 1370-1373.

Zar, J.H. Biostatistical analysis. Second ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 718 p.

Tableau 1. Matrice des coefficients de corrélation simple de Spearman (r_s) entre les indices (traditionnels et de condition) et les réserves énergétiques pour 30 mâles (M) et 27 femelles (F) pilets abattus à Saint-Barthélemy au printemps 1997. Les coefficients en caractères gras sont les plus élevés de chaque colonne.

	r_s			
	Graisses		Protéines	
	M	F	M	F
Poids frais	0.390 *	0.227 N.S.	0.596 ***	0.542 **
% eau	-0.454 *	-0.047 N.S.	-0.543 **	-0.636 ***
Indice lip.	0.875 ***	0.886 ***	-0.680 ***	-0.809 ***
IC _L	0.745 ***	0.882 ***	-0.614 ***	-0.812 ***
IL _D	0.896 ***	0.877 ***	-0.428 *	-0.682 ***
IC _P	-0.839 ***	-0.877 ***	0.749 ***	0.819 ***
IP _D	-0.353 N.S.	-0.565 **	0.866 ***	0.769 ***

N.S. non significatif ($P > 0.05$); * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

Tableau 2. Matrice des coefficients de corrélations de Spearman entre les paramètres sanguins et les réserves énergétiques et les différents indices des mâles pilets à Saint-Barthélemy (printemps 1997)

	<i>n</i>	graisses		protéines		IC _L		IC _P		IL _D		IP _D	
		(g)		(g)									
AGL ¹	30	0.158	N.S. ²	-0.042	N.S.	0.197	N.S.	-0.145	N.S.	0.173	N.S.	-0.111	N.S.
ALB	30	0.040	N.S.	0.184	N.S.	0.047	N.S.	0.018	N.S.	0.052	N.S.	0.142	N.S.
AU	30	-0.367	*	0.388	*	-0.390	*	0.432	*	-0.435	*	0,390	*
CA	30	0.086	N.S.	-0.590	***	0.180	N.S.	-0.377	*	0.118	N.S.	-0,544	***
CH	30	-0.005	N.S.	-0.250	N.S.	0.194	N.S.	-0.213	N.S.	0.038	N.S.	-0.212	N.S.
NA	29	0.136	N.S.	-0,493	**	0.100	N.S.	-0.337	N.S.	0.286	N.S.	-0,390	*
K	29	0.012	N.S.	0,369	*	0.013	N.S.	0.228	N.S.	-0.011	N.S.	0,448	*
CL	29	0.196	N.S.	-0,584	***	0.229	N.S.	-0,457	*	0.346	N.S.	-0,443	*
GLU	30	-0.001	N.S.	-0.039	N.S.	0.066	N.S.	0.001	N.S.	0.004	N.S.	0.038	N.S.
PT	30	0.229	N.S.	-0.012	N.S.	0.221	N.S.	-0.210	N.S.	0.277	N.S.	-0.029	N.S.
TRI	30	-0.304	N.S.	0.049	N.S.	-0.163	N.S.	0.203	N.S.	-0.237	N.S.	0.065	N.S.
FT ₄	26	-0.001	N.S.	-0.166	N.S.	0.176	N.S.	-0.140	N.S.	0.122	N.S.	-0.071	N.S.
CK	24	-0.234	N.S.	-0.034	N.S.	-0.233	N.S.	0.124	N.S.	-0.311	N.S.	0.007	N.S.
ACL	28	0.240	N.S.	-0.163	N.S.	0.036	N.S.	-0.169	N.S.	0.191	N.S.	-0.198	N.S.
AHB	28	0.277	N.S.	0.048	N.S.	0.197	N.S.	-0.173	N.S.	0.284	N.S.	0.076	N.S.

¹ voir la section matériel et méthodes pour la description des abréviations reliés aux paramètres sanguins

² N.S.: non significatif ($P > 0.05$); * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

Tableau 3. Matrice des coefficients de corrélation de Spearman entre les paramètres sanguins¹ et les réserves énergétiques et les différents indices des femelles pilets à Saint-Barthélemy (printemps 1997)

	<i>n</i>	graisses (g)	protéines (g)	IC _L	IC _P	IL _D	IP _D
AGL	27	-0,452 *	0.159	-0.371	0.360	-0.274	0.250
ALB	27	-0.263	0,441 *	-0,447 *	0,425 *	-0.376	0,409 *
AU	27	0.071	0.196	-0.079	0.044	-0.085	-0.046
CA	27	0.249	0,392 *	-0.060	0.033	-0.052	0.106
CH	27	0.067	0.189	-0.071	0.080	-0.015	0.175
NA	27	-0.096	-0.049	0.064	-0.029	0.098	0.033
K	27	-0.035	0.019	-0.181	0.158	-0.124	0.053
CL	27	-0.152	0.082	-0.054	0.092	0.004	0.174
GLU	27	-0.109	0.281	-0.162	-0.177	-0.128	0.219
PT	27	-0.027	-0.332	-0.208	0.202	-0.120	0.238
TRI	27	-0.001	0.097	-0.075	0.034	-0.089	0.023
FT ₄	24	-0.275	-0.043	-0.095	0.110	-0.072	0.152
CK	26	0.014	0.179	-0.094	0.094	-0.045	0.257
ACL	21	0.015	0.052	0.077	-0.039	0.112	0.045
AHB	22	-0.258	0,665 ***	-0,555 **	0,535 **	-0,454 *	0,485 *

¹ voir la section matériel et méthodes pour la description des abréviations reliés aux paramètres sanguins

² - : N.S. ($P > 0,05$); * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Tableau 4. Modèle de régression multiple pour prédire le poids (g) des protéines (P) et des graisses corporelles totales (G) à partir de paramètres non-invasifs (X) pour les canards pilets à Saint-Barthélemy (printemps 1997)

Sexe	Coefficient de détermination (r^2)	Équation
M	0.61	$P = -103.5 + 0.4 (\text{POIDS})^1 + 0.06 (\text{AU}) - 54.0 (\text{CA})$
(n = 30)	0.56	$G = -480.7 + 0.5 (\text{POIDS}) - 0.08 (\text{AU}) + 91.0 (\text{CA})$
F	0.62	$P = -131.3 + 0.4 (\text{POIDS}) + 1107.8 (\text{AHB}) - 14.2 (\text{CH})$
(n = 22)	0.31	$G = -27.9 + 0.2 (\text{POIDS}) - 835.4 (\text{AHB})$

¹ POIDS: poids frais (g); AU: acide urique sérique ($\mu\text{mol/L}$);

CA: calcium sérique total (mmol/L); AHB: acide hydroxybutyrique sérique (g/L);

CH: cholestérol sérique (mmol/L)

Légende des figures

Figure 1. Poids frais des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date

Figure 2. Quantité de graisses dans les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date

Figure 3. Quantité de protéines dans les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date

Figure 4. Quantité d'eau dans les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date

Figure 5. Quantité de cendres dans les carcasses des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date

Figure 6. Créatine kinase (CK) sérique des canards pilets à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date

Figure 1

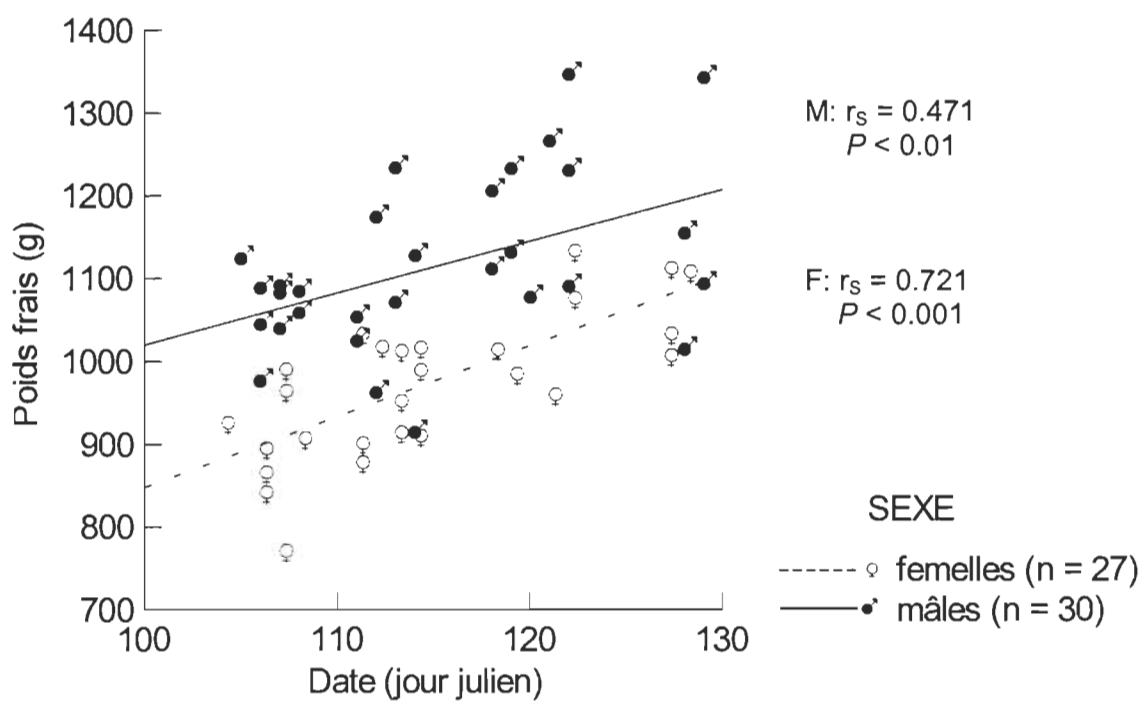


Figure 2

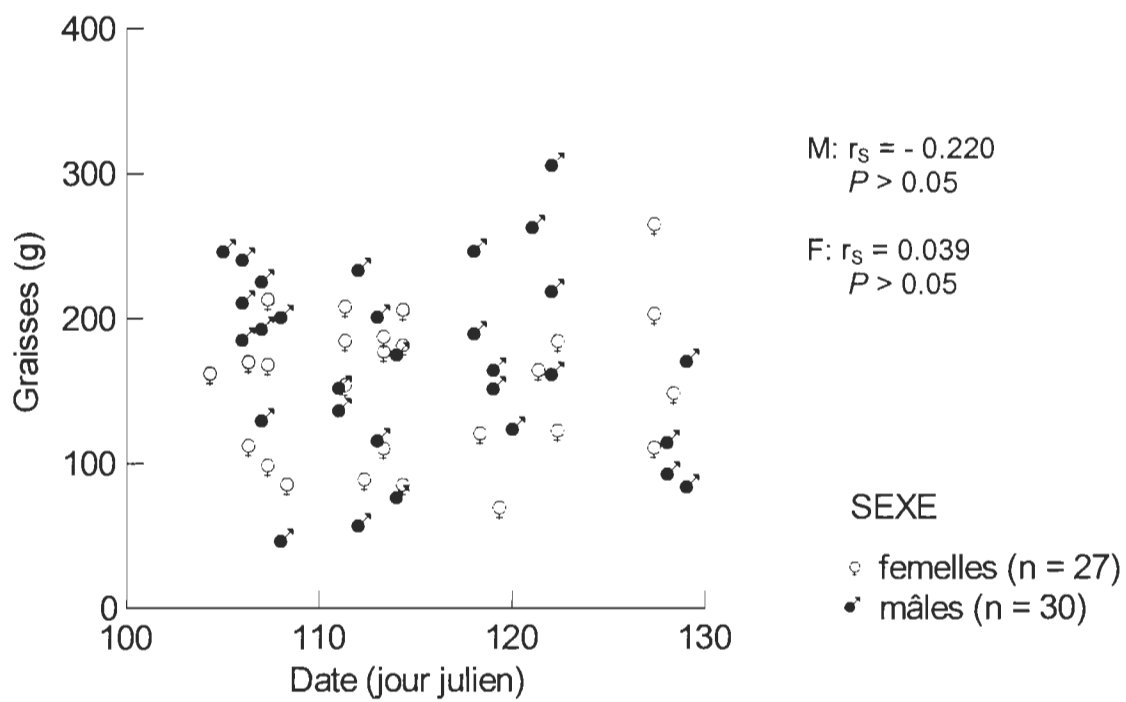


Figure 3

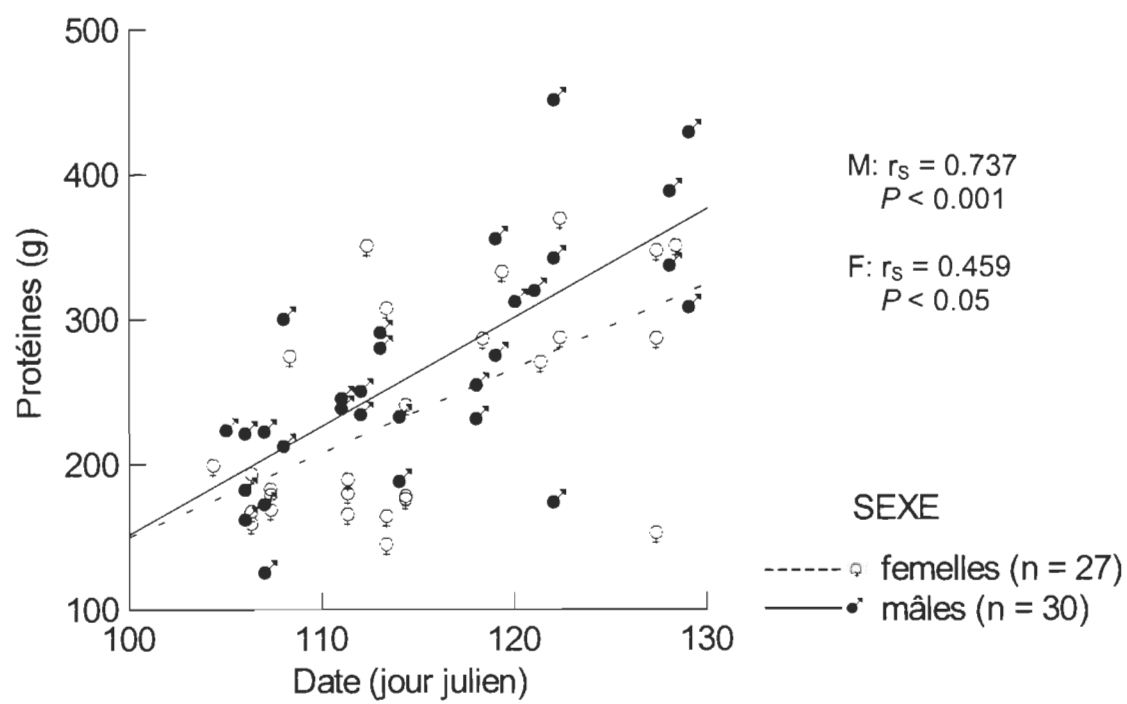


Figure 4

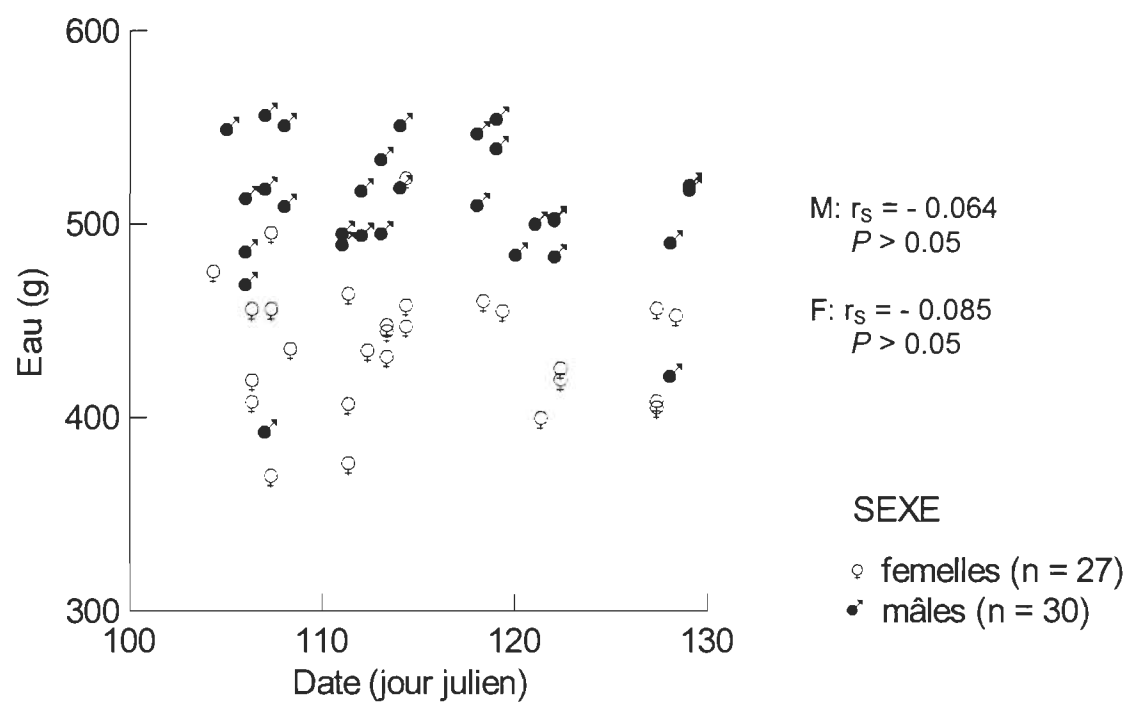


Figure 5

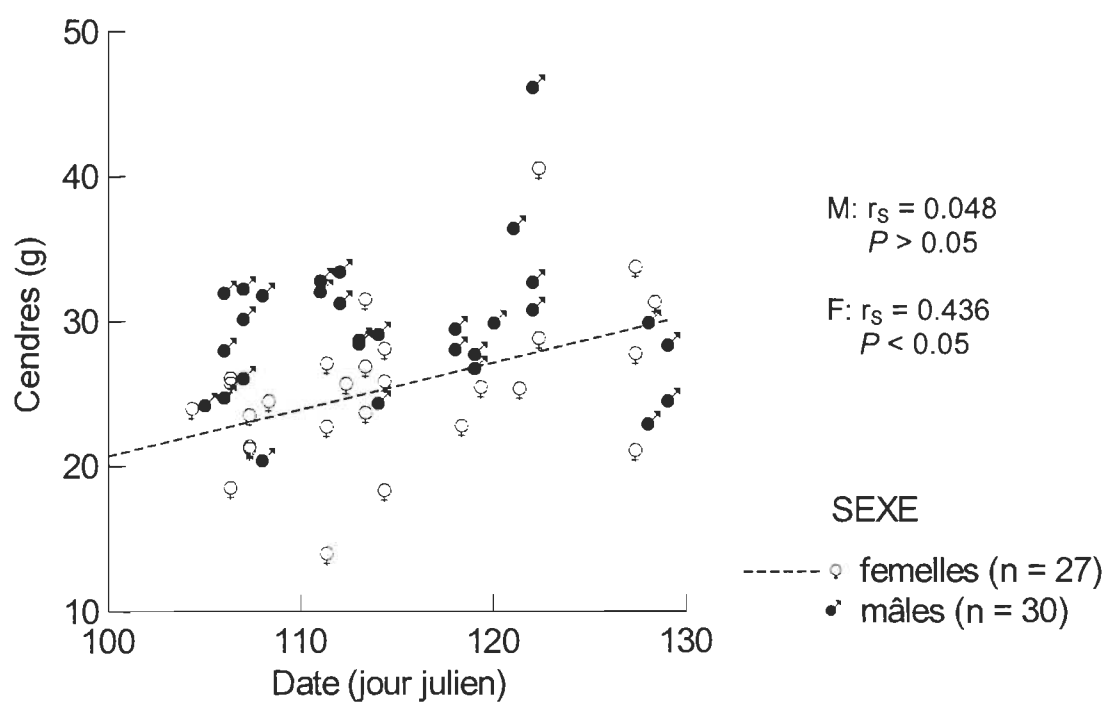
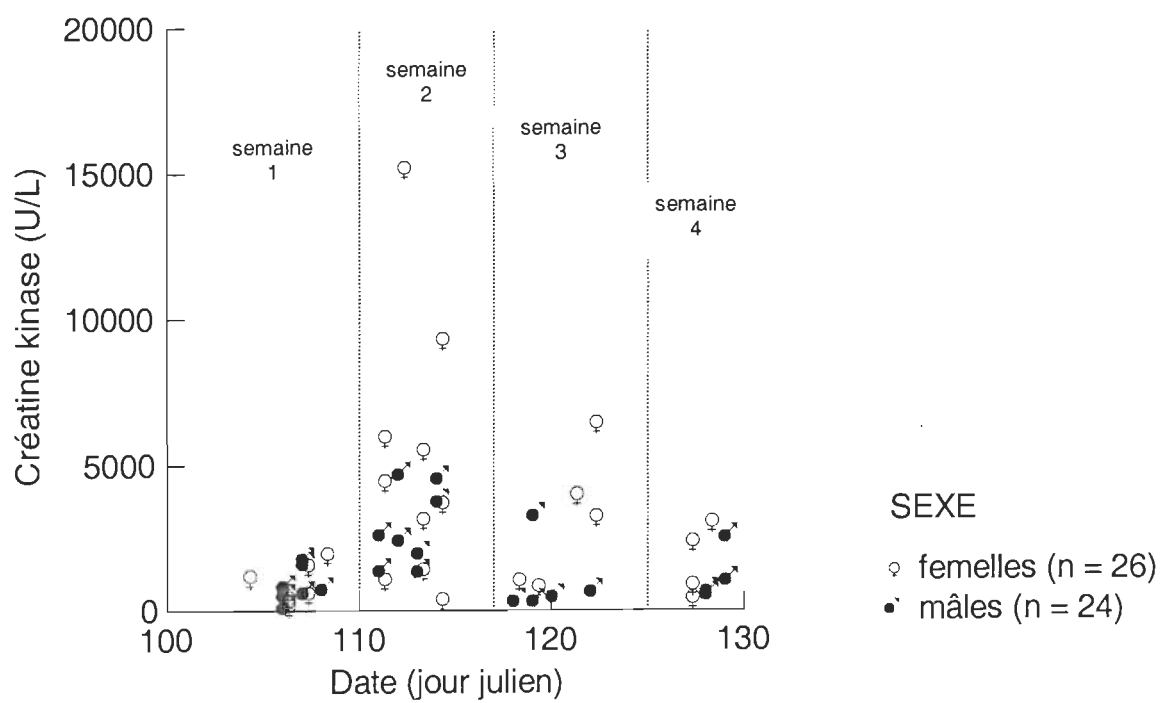


Figure 6



CHAPITRE II

ÉTAT REPRODUCTEUR DES FEMELLES PILETS À SAINT-BARTHÉLEMY

Abstract: Cette étude visait à préciser l'état reproducteur des femelles pilets (*Anas acuta*) qui fréquentent la plaine d'inondation de Saint-Barthélemy au printemps. Les résultats de notre étude réalisée en 1997 indiquent que plusieurs femelles débutent la phase de croissance rapide des follicules (RFG) pendant leur séjour à Saint-Barthélemy. Pour ces femelles, la masse folliculaire, le calcium sanguin total et le poids des cendres augmentent de manière significative avec l'accroissement du diamètre folliculaire. Les femelles en RFG ont des masses musculaires et osseuses plus élevées que les femelles en pré-RFG. Elles ont aussi un taux de calcium total sérique plus élevé. Toutefois, nous n'avons pas observé de différence entre les deux groupes de femelles au niveau de la quantité de graisses corporelles et des hormones sexuelles sérique (oestradiol et progestérone). Une équation a été élaborée afin d'estimer le diamètre du plus gros follicule ovarien des femelles à partir du poids frais et du calcium sérique. Cette nouvelle approche devrait permettre d'estimer l'état reproducteur des femelles pilets à Saint-Barthélemy sans devoir sacrifier l'animal pour mesurer le diamètre folliculaire. L'étude a permis de confirmer l'importance de la halte migratoire de Saint-Barthélemy lors de la période de reproduction des canards pilets.

Pour toutes les espèces de sauvagine nichant en Amérique du Nord, les coûts énergétiques élevés reliés à la production des œufs (Alisauskas et Ankney 1992) impliquent des changements dans l'alimentation afin d'assurer aux femelles une nourriture riche en lipides et en protéines (Krapu 1974a, Gauthier 1993). Au moment de la nidification, certaines d'entre elles doivent compter sur des réserves énergétiques accumulées pendant la période précédant l'incubation (Ankney et MacInnes 1978, Drobney 1982, Murphy et Boag 1989, Gauthier et al. 1992, Mann et Sedinger 1993, Esler et Grand 1994). L'importance des réserves endogènes au moment de la reproduction a été démontrée pour les femelles pilets nichant au Dakota du Nord (Krapu 1974b) et en Alaska (Mann et Sedinger 1993, Esler et Grand 1994, Flint et Grand 1996). Celles-ci doivent être préparées non seulement à la ponte mais surtout à l'incubation car elles ne pourront s'alimenter pendant plusieurs jours en raison de leur mobilité réduite (Derrickson 1978, Ankney et al. 1991, Mann et Sedinger 1993). Aucune étude n'a été effectuée jusqu'à maintenant sur la reproduction des canards pilets femelles de la province de Québec et sur la dynamique de leurs réserves énergétiques en fonction du statut reproducteur.

Au printemps, la halte migratoire de Saint-Barthélemy accueille plus de 10 000 canards barboteurs dont près de 80 % sont des canards pilets (Ministère de l'Environnement et de la Faune 1989). Ces oiseaux y séjournent de quatre à cinq semaines. Dans les dernières semaines, les couples se rassemblent et certains comportements reproducteurs de cour et de copulation sont observés. L'occupation printanière et estivale du lac Saint-Pierre par les canards pilets pendant la période de nidification a d'abord été rapportée par Bélanger

et Couture (1989). De plus, des inventaires de couvées réalisés en 1984 et 1985 au lac Saint-Pierre révèlent que les canards pilets occupent les premières positions pour la fréquence d'observations de couvées (Bourgeois et al. 1992). Puisque les populations de canards pilets ont diminué en Amérique du Nord (Fredrickson et Heitmeyer 1991), il devenait pertinent de s'attarder à l'état reproducteur femelles pilets à Saint-Barthélemy ainsi qu'à la dynamique de leurs réserves nutritives.

Au cours de cette étude, nous avons caractérisé l'état reproducteur des femelles pilets à la halte migratoire de Saint-Barthélemy et observé leur préparation pour la ponte. Nous avons également évalué la dynamique des différentes composantes corporelles qui interviennent durant la reproduction chez les femelles pilets. Finalement, nous avons établi une équation qui permet d'estimer le diamètre du plus gros follicule ovarien des femelles à partir de mesures simples qui ne nécessitent pas le sacrifice de ces oiseaux.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site de l'Étude

Le travail sur le terrain s'est effectué du 14 avril au 9 mai 1997 à la halte migratoire de Saint-Barthélemy, située sur la rive nord du lac Saint-Pierre (fleuve Saint-Laurent), Québec, Canada (46° 11' N; 73° 08' W). Cette aire de repos, qui est constituée de champs inondés par la crue printanière, est fréquentée surtout par les canards pilets pendant environ 5 semaines. Les couples s'y rassemblent pour accumuler des réserves énergétiques nécessaires à la reproduction et à la migration. Cette période coïncide avec une augmentation des invertébrés recherchés par les femelles (Krapu 1974*b*).

Récolte des Échantillons

Vingt-sept (27) femelles pilets s'alimentant, choisies au hasard, ont été abattues au sol, du 14 avril au 9 mai 1997, à l'aide d'une carabine de calibre .22, par des employés du Ministère de l'Environnement et de la Faune. Les oiseaux ont immédiatement été identifiés et pesés au gramme près à l'aide d'une balance à plateau. Le sang a été recueilli par ponction cardiaque (Donham 1979, Hannon 1979), dans un tube de verre de marque Vacutainer (Vacutainer®, Becton-Dickinson, Rutherford, New Jersey 07070, USA). Tous les échantillons de sang ont été gardés à 4°C et à l'obscurité jusqu'au moment de l'analyse. Les follicules ovariens ainsi que le jabot et le gésier ont par la suite été retirés. Le jabot et le gésier étaient utilisés dans le cadre d'une étude menée parallèlement sur les habitudes alimentaires de ces canards. Le diamètre du plus gros follicule ovarien (\varnothing follicule) de chaque femelle a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse (précision de 0.1 mm). La masse folliculaire a été pesée au 0,1 g près. Les femelles ont été classées en deux catégories selon le diamètre folliculaire (\varnothing follicule): en pré-RFG ($\varnothing < 8.2$ mm) et en RFG ($\varnothing \geq 8.2$ mm) (Esler 1994). Les carcasses ont été gardées au congélateur (-30 °C) dans des sacs de plastique étiquetés et fermés hermétiquement.

Analyse des Spécimens

Une fois congelées, les carcasses ont été rasées, pesées de nouveau (POIDS CONGELÉ) avant d'être coupées en morceaux pour ensuite être broyées deux fois dans un moulin à viande de marque Hobart afin d'assurer une meilleure homogénéisation des constituantes. Le pourcentage d'eau (% EAU) a été calculé à partir d'un échantillon de

100 g d'homogénat qui a été lyophilisé puis pesé. Ce pourcentage d'eau est multiplié par le POIDS CONGELÉ afin d'obtenir la quantité d'eau de la carcasse et le poids de la CARCASSE DÉSHYDRATÉE (POIDS CONGELÉ moins la QUANTITÉ D'EAU).

L'échantillon lyophilisé a ensuite été finement moulu dans un moulin à haute vitesse. Deux échantillons d'environ 1 g de cette poudre ont été pesés sur une balance analytique et soumis à l'extraction lipidique avec l'éther de pétrole selon la méthode utilisée par Gauthier et al. (1992). La quantité de graisses dans ces réplicats permet de déterminer leur pourcentage de gras sec et par conséquent, le pourcentage de gras de la carcasse déshydratée. La moyenne du pourcentage de gras est multipliée par le poids de la carcasse déshydratée afin d'obtenir la quantité de graisses (GRAISSES) dans la carcasse. Le contenu en minéraux (CENDRES) est déterminé en pesant les cendres obtenues après l'incinération à 550°C pendant 12 heures d'un échantillon lyophilisé (entre 2 et 3 g) et en rapportant cette quantité pour le poids de la carcasse déshydratée. La quantité de protéines (PROTÉINES) est calculée selon la formule suivante: CARCASSE DÉSHYDRATÉE - (GRAISSES + CENDRES).

Paramètres Sanguins Utilisés

Plusieurs paramètres sanguins pouvant indiquer l'état des fonctions reproductrices ont été envisagés dès le début. Après des recherches plus approfondies (voir Amand 1986, Hochleithner 1994) et des essais en laboratoire sur des spécimens prélevés au printemps 1996, les analyses sériques suivantes ont été effectuées: calcium total (Ca), oestradiol et progestérone.

Analyses Biochimiques

La mesure du calcium total a été effectuée à l'aide d'un analyseur chimique automatique Hitachi 704 de Boehringer Mannheim GmbH (Mannheim, Germany) et en utilisant les réactifs et la procédure (Gindler et King 1972) fournis par la compagnie.

L'oestradiol et la progestérone ont été mesurées par radioimmunoassay à I^{125} en phase solide en utilisant les trousse de Coat-A-Count® (Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, CA90045-5597) et selon les procédures recommandées par le manufacturier.

Analyses Statistiques

Tous les paramètres ont été testés pour la normalité des distributions. Lorsque les conditions d'applications des analyses paramétriques n'étaient pas toutes respectées, des analyses non-paramétriques ont été effectuées. Des corrélations de rang de Spearman ont été employées afin de confirmer la maturation des follicules ovariens chez certaines femelles et pour déterminer les paramètres qui varient en fonction du développement des follicules ovariens (Bart et Notz 1994). Un test non paramétrique de comparaison de moyennes (test de Kruskal Wallis) a été appliqué afin d'établir les différences entre les femelles qui ont débuté la croissance rapide des follicules (RFG) et les autres femelles (SPSS Science Marketing Department 1998).

Les éléments qui auront montré une corrélation significative avec le diamètre du plus gros follicule ovariens seront utilisés comme variables dépendantes, avec le poids frais, dans l'analyse de régression multiple afin d'établir une équation permettant d'évaluer

le diamètre du plus gros follicules ovariens à partir de mesures pouvant être prises sur des femelles vivantes (Bart et Notz 1994).

RÉSULTATS

État Reproducteur des Femelles

Le tiers (9) des 27 femelles pilets abattues à la halte migratoire de Saint-Barthélemy au printemps de 1997 étaient dans la catégorie RFG (figure 1). Le diamètre du plus gros follicule augmente significativement en fonction de la date, exprimée en jours juliens ($r_s = 0.709$; $P < 0.001$). En 1997, la date d'observation la plus hâtive d'une femelle en reproduction a été le 21 avril. Les femelles abattues lors de la première semaine d'échantillonnage n'étaient pas en reproduction alors que celles de la quatrième semaine l'étaient toutes (figure 1). Un chevauchement des deux groupes de femelles (pré-RFG et RFG) est observé à la deuxième et troisième semaine.

Préparation des Femelles Pour la Ponte

Pendant la période de croissance rapide des follicules ovariens (neuf femelles en RFG), le poids de la masse folliculaire montre une corrélation élevée avec le diamètre du plus gros follicule ovarien ($r_s = 0.887$; $P < 0.005$) (figure 2). Pour ces femelles, le calcium sérique total montre une augmentation significative en fonction du diamètre du plus gros follicule ovarien ($r_s = 0.750$; $P < 0.05$; figure 3) et cette corrélation est encore plus élevée ($r_s = 0.833$; $P < 0.01$; $n = 8$) si on ne tient pas compte de la valeur abérante (calcium total: 5.62 mmol/L et Ø follicule: 13 mm). Finalement, le poids des cendres des neuf femelles en

reproduction (RFG) augmente significativement ($r_s = 0.850$; $P < 0.01$) avec le diamètre du plus gros follicule ovarien (figure 4).

Dynamique des Composantes Corporelles

Le poids corporel, le calcium total sanguin de même que la quantité de protéines et de cendres des femelles de la catégorie RFG sont plus élevées que celles des femelles de la catégorie pré-RFG (tableau 1). Cependant, il n'existe pas de différence significative entre les deux groupes en ce qui concerne la quantité de graisses dans la carcasse.

Estimation de l'État Reproducteur des Femelles

Il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes de femelles (pré-RFG et RFG) quant aux concentrations sanguines des hormones sexuelles (œstrogène et progestérone) (tableau 1). Par ailleurs, le diamètre du plus gros follicule ovarien (\emptyset follicule) peut être estimé à partir de paramètres non-invasifs à l'aide de l'équation suivante établie par l'analyse de régression multiple:

$$\emptyset \text{ follicule (mm)} = \{0.01 \times \text{poids frais (g)}\} + \{2.4 \times \text{Ca (mmol/L)}\} - 11.0;$$

$$(r^2 = 0.50; P < 0.001).$$

DISCUSSION

État Reproducteur des Femelles

Le séjour des canards pilets à Saint-Barthélemy concorde avec le début de la maturation des follicules ovariens chez les femelles. À la fin de la période d'échantillonnage, toutes les femelles abattues étaient dans la phase de croissance rapide des follicules (RFG). La durée de la phase de RFG de chaque follicule est d'environ 4 jours et chacun est séparé de 24 h (Esler 1994). Ces femelles auraient alors certainement niché dans la région du lac Saint-Pierre sans poursuivre leur migration. Les résultats obtenus pour cette partie de l'étude permettent déjà de confirmer l'importance du lac Saint-Pierre pour la nidification. La date d'observation de la première femelle abattue en RFG en 1997 (le 21 avril) peut sembler hâtive mais elle correspond avec les dates obtenues par les calculs effectués à partir des inventaires de couvées réalisés en 1984 et 1985 (Bourgeois et al. 1992). Les canards pilets sont effectivement considérés comme des nicheurs hâtifs (Fredrickson et Heitmeyer 1991). Les femelles arrivent à Saint-Barthélemy tôt au printemps (fin mars, début avril). Certaines repartiront vers les sites de nidification quelques semaines plus tard mais plusieurs demeureront dans la région pour pondre leurs oeufs et élever leur couvée. Pour ces dernières femelles, la maturation des follicules ovariens aura débuté pendant leur séjour à Saint-Barthélemy.

Préparation des Femelles Pour la Ponte

La maturation des follicules ovariens constitue l'étape préalable à la ponte chez les femelles. Lors de la phase de croissance rapide des follicules ovariens et jusqu'au moment

de l'ovulation, les follicules ovariens, qui deviendront les futurs œufs, subiront une augmentation de taille due à la formation du vitellus (jaune de l'œuf) par le dépôt de plusieurs couches de lipides (Alisauskas et Ankney 1992, Joyner 1994). Seules les femelles en RFG verront leur masse folliculaire augmenter due à l'augmentation de la charge lipidique des follicules en maturation. Les femelles abattues en RFG à Saint-Barthélemy au printemps de 1997 ont effectivement présenté cette caractéristique (augmentation du poids des follicules ovariens en fonction du diamètre du plus gros follicule).

À Saint-Barthélemy, l'augmentation du calcium sanguin et des cendres en fonction du diamètre du plus gros follicule chez les femelles en RFG démontre une augmentation de l'apport exogène (diète) en calcium ainsi que la mise en réserve de cet élément dans les os pendant la période qui précède l'ovulation (Hohman 1986, Hochleithner 1994). Cette réserve est constituée afin d'assurer une disponibilité immédiate du calcium pour le dépôt sur l'œuf lors de la formation de la coquille (Johnson 1986). L'augmentation du poids des cendres et du taux de calcium total en fonction du diamètre du plus gros follicule ovarien ont déjà été rapportées par d'autres auteurs (Hannon 1979, Barzen et Serie 1990, Fairbrother et al. 1990).

Pour les canards pilets, le diamètre du plus gros follicule ovarien peut être utilisé pour séparer les deux groupes de femelles (pré-RFG et RFG). Dans les études antérieures à 1994, on considérait que les femelles pilets étaient en RFG lorsque le diamètre du plus gros follicule mesurait plus de 6.0 mm (Phillips and van Tienhoven 1962). Toutefois, les résultats obtenus par Esler (1994) ont permis de préciser, pour les femelles pilets, que la

phase de RFG débute lorsque le diamètre du plus gros follicule ovarien atteint 8.2 mm et qu'elle dure environ 4.2 jours. Nous avons donc utilisé ces valeurs pour notre étude bien que les canards pilets utilisés par ce chercheur ont été tués en Alaska, à des latitudes beaucoup plus nordiques et où la durée du jour en été est presque de 24 heures. Il n'est pas exclu que sous d'autres conditions, la phase de RFG soit d'une durée différente. Ce chercheur suggère d'ailleurs de fixer le seuil à 10 mm plutôt qu'à 8.2 mm afin de s'assurer que le follicule soit réellement en RFG.

Dynamique des Composantes Corporelles

Les éléments nutritifs essentiels à la reproduction des femelles sont principalement les lipides, les protéines, les hydrates de carbone et finalement le calcium (Alisauskas et Ankney 1992). Deux stratégies alimentaires, reliées à la provenance de ces éléments pour la ponte et la nidification, sont observées à travers les différentes espèces de sauvagine. Dans la première stratégie, les femelles se nourrissent très peu avant et pendant la vitellogénèse et doivent ainsi compter presque exclusivement sur les réserves énergétiques endogènes. Cette situation a été observée chez l'eider à duvet (*Somateria mollissima*) (Korschgen 1977), et chez la petite oie des neiges (*Chen caerulescens*) qui niche dans l'Arctique (Ryder 1970, Mac Innes et al. 1974, Ankney 1977, Raveling 1979). En contrepartie, les espèces qui nichent en régions tempérées bénéficient d'une plus grande disponibilité des ressources alimentaires pendant la vitellogénèse. Ainsi, les éléments nutritifs nécessaires à la reproduction proviennent à la fois des réserves endogènes et de l'apport exogène de la diète (Drobney 1980, Krapu 1981, Ankney et Afton 1988, Gauthier 1993). Selon leur région de

nidification, les femelles pilets adoptent l'une ou l'autre de ces deux stratégies (Krapu 1974a, Mann et Sedinger 1993, Esler et Grand 1994).

En raison de leur valeur énergétique élevée, les lipides sont le plus souvent emmagasinés comme source énergétique (Alisauskas et Ankney 1992). L'accumulation de graisses pour la reproduction s'effectue le plus souvent avant la période de ponte. C'est le cas notamment des oies qui séjournent le long du Saint-Laurent (Gauthier et al. 1992), du canard colvert (Krapu 1981) et du canard pilet en Alaska (Mann et Sedinger 1993, Esler et Grand 1994). L'accumulation des graisses peut se continuer pendant la RFG comme pour le fuligule à dos blanc (*Aythya vallisneria*) (Barzen et Serie 1990), le canard branchu (*Aix sponsa*) (Drobney 1982), le canard chipeau (*Anas strepera*) (Ankney et Alisauska 1991) et le canard pilet en Alaska (Mann et Sedinger 1993). Les lipides sont mobilisés pour la formation des follicules ovariens (Barzen et Serie 1990, Krapu 1981, Ankney et Afton 1988, Esler et Grand 1994). On observe effectivement une diminution des réserves de graisses durant la phase de RFG (Hohman 1986). Les graisses peuvent aussi être utilisées par la femelle comme source d'énergie pendant l'incubation comme c'est le cas pour la bernache du Canada (*Branta canadensis*) (Murphy et Boag 1989) et pour le canard pilet en Alaska (Mann et Sedinger 1994). L'énergie provenant de la combustion des graisses accumulées peut également servir à la recherche d'invertébrés, principale source de protéines et de calcium pour les œufs (LaGrange et Dinsmore 1988, Krapu 1981, Drobney 1980). Finalement, les graisses contribuent au métabolisme basal de la femelle (Barzen et Serie 1990, Esler et Grand 1994).

Les canards pilets qui ont séjourné à Saint-Barthélemy au printemps 1997 n'ont pas montré de variation de la quantité de graisses dans le temps (Dombrowski et al., données non publiées). Les résultats de la présente étude révèlent qu'il n'y a pas de différence entre la quantité de graisses des deux groupes de femelles (pré-RFG et RFG). Ces résultats indiquent que ces femelles n'accumulent pas de graisses entre ces deux stades de reproduction. De plus, les femelles en RFG qui séjournent à Saint-Barthélemy n'épuisent pas leurs propres réserves, ce qui suggère que l'apport exogène (alimentaire) important compense largement les besoins énergétiques reliés à la production des follicules riches en lipides (Joyner 1994).

À l'instar des graisses, les protéines nécessaires à la reproduction chez les femelles peuvent être obtenues, en partie, à partir de réserves endogènes. C'est le cas notamment pour la petite oie des neiges (Ankney et MacInnes 1978), pour la grande oie des neiges (Choinière et Gauthier 1995), pour l'eider à duvet (Milne 1976), pour le fuligule à dos blanc (Barzen et Serie 1990), pour le canard chipeau (Ankney et Alisauskas 1991) et pour le canard pilet en Alaska (Mann et Sedinger 1993); dans ce dernier cas, les protéines endogènes procurent entre 21 et 62% des protéines nécessaires à la production des œufs. Dans d'autres cas, les protéines endogènes sont peu (ou pas) impliquées dans la reproduction (Krapu 1981, canard colvert; Reinecke et al. 1982, canard noir; Tome 1984, erismature rousse; Hohman 1986, fuligule à collier; Ankney et Afton 1988, canard souchet; Barzen et Serie 1990, fuligule à dos blanc; Drobney 1982, canard branchu; LaGrange et Dinsmore 1988, canard colvert). Les femelles dépendent alors des ressources alimentaires

afin d'assurer leurs besoins en protéines (Krapu 1974*a,b*; Hohman 1985; Ankney et Afton 1988; Krapu et Reinecke 1992).

À Saint-Barthélemy, les femelles pilets au stade RFG ont montré une augmentation de la quantité des protéines corporelles. Ce phénomène a aussi été observé par Barzen et Serie (1990) chez le fuligule à dos blanc et par Ankney et Alisauskas (1991) chez le canard chipeau. Nos résultats ne permettent toutefois pas de déterminer si l'augmentation de la quantité de protéines observée à Saint-Barthélemy pendant la période précédant l'ovulation serviront ultérieurement à la reproduction. Lors de la formation de l'œuf, l'albumen, riche en protéines, est déposée après l'ovulation, au moment du passage du follicule (fertilisé, s'il y a lieu) dans l'oviducte (Alisauskas and Ankney 1992, Joyner 1994). L'augmentation de la quantité de protéines notée non seulement chez les femelles mais aussi chez les mâles (Hohman 1986, Dombrowski et al., données non publiées) laisse croire que ces protéines ne serviraient pas seulement à la production des œufs. En effet, l'augmentation des protéines, constituant majeur de la masse musculaire, pourrait être une conséquence du vol migratoire suite à l'utilisation intense des muscles pour leur déplacement ou encore s'avérer une préparation à la poursuite de la migration (Marsh 1984) pour les femelles qui ne nichent pas dans la région du lac Saint-Pierre. Elle pourrait également constituer une mise en réserves de protéines en vue de la formation du plumage lors de la mue estivale (Austin et Miller 1995), bien que la capacité des oiseaux à faire des réserves de protéines ne soit pas encore confirmée (voir Krapu et Reinecke 1992). Chez les oiseaux, les plumes contiennent de 20 à 30 % de toutes les protéines corporelles (Griminger et Scanes 1986).

La différence des quantités de cendres observées entre les deux groupes de femelles pilets à Saint-Barthélemy (pré-RFG et RFG) reflètent fort probablement l'augmentation de la densité osseuse et l'épaississement des os longs comme l'avait noté Drobney (1982) pour le canard branchu ainsi que Ankney et MacInnes (1978), chez la petite oie des neiges, et Hohman (1986), chez le fuligule à collier. La formation de l'os médullaire, caractérisé par la présence de spicules de calcium, peut survenir pendant la période de reproduction chez la femelle de certaines espèces d'oiseaux nicheurs (Johnson 1986, Kenny 1986). Cet os médullaire constitue une réserve de calcium pouvant être rapidement mobilisée lors de la formation de la coquille si l'apport externe de calcium n'est pas suffisant. Les canards pilets en Alaska n'avaient toutefois pas montré de variation de la quantité de cendres entre le stade pré-RFG et le stade RFG et pendant toute la période de reproduction (Mann et Seding 1993), suggérant que le calcium nécessaire à la calcification de l'œuf ne pouvait alors provenir que de l'alimentation. Esler et Grand (1994) avaient d'ailleurs noté que le calcium présent dans les os médullaires des femelles pilets en Alaska jouaient un rôle négligeable dans la formation des œufs de la première couvée. À Saint-Barthélemy, la mise en réserve de calcium dans les os longs par les femelles pilets indique que le site d'alimentation constitue une source riche de cet élément. Les invertébrés à carapace dure fournissent généralement la majeure partie du calcium provenant de l'alimentation (Krapu 1974b). À Saint-Barthélemy, une faible quantité de ces organismes a été trouvée dans les jabots des canards pilets récoltés en alimentation (Grenier et al., en rédaction). Par contre, la diète des femelles pilets est majoritairement composée de graines de sarrasin (*Polygonum Fagopyrum*), qui sont relativement riches en calcium (Mohtadji-Lamballais 1989).

En ce qui concerne la dynamique de leurs réserves nutritives, les femelles pilets qui séjournent à Saint-Barthélemy ont révélé des différences importantes avec les individus abattus par Mann et Sedinger (1993) en Alaska (tableau 2). Les femelles abattues en pré-RFG à Saint-Barthélemy sont différentes des femelles du même stade reproducteur capturées en Alaska pour toutes les composantes corporelles sauf pour la quantité de cendres (tableau 2). En effet, les femelles capturées à Saint-Barthélemy sont plus lourdes et ont davantage de réserves nutritives (graisses et protéines) que les individus de l'Alaska. Toutefois, les femelles de Saint-Barthélemy possèdent la même masse osseuse que les femelles en Alaska avant le début de la croissance rapide des follicules. Cette similarité est aussi observée pendant la phase RFG. Durant la période de maturation des follicules, les femelles pilets en Alaska présentent les mêmes quantités de graisses et de cendres que les femelles de Saint-Barthélemy mais ces dernières sont encore plus lourdes et ont plus de réserves de protéines que les femelles de l'Alaska. Contrairement aux femelles de l'Alaska, les femelles pilets de Saint-Barthélemy ont largement atteint le seuil minimum de protéines accumulées (152 g) proposé par Mann et Sedinger (1993) pour s'assurer d'avoir la quantité nécessaire de protéines pour pondre tous les œufs de la couvée.

Estimation de l'État Reproducteur des Femelles

L'oestradiol et la progestérone mesurées chez les femelles pilets à Saint-Barthélemy ne semblent pas être de bons indicateurs de l'état reproducteur car elles ne présentent pas de variations pendant la croissance rapide des follicules ovariens. Donham (1979) avait également observé une stabilité du niveau de progestérone chez le canard colvert, même en période de reproduction. Il avait toutefois noté une augmentation du niveau d'oestrone et

d'oestradiol-17 pendant la ponte. Chez le dindon sauvage (*Meleagris gallopavo silvestris*), l'oestrone est le principal œstrogène du plasma et montre des fluctuations plus importantes que l'oestradiol pendant la reproduction (Martin et al. 1981).

Chez les animaux, la mesure directe des oestrogènes est généralement une bonne méthode pour évaluer le statut reproducteur des femelles. Ces analyses sont toutefois longues, coûteuses et demandent davantage de plasma que les conditions de prélèvement sanguin ne permettent d'en obtenir (Hannon 1979). Puisque les estrogènes causent une augmentation de la concentration d'autres paramètres biochimiques sanguins comme le calcium, le phosphore et les lipides (Johnson 1986), certains paramètres sanguins peuvent donc donner une mesure indirecte de l'activité des hormones sexuelles lors de la reproduction (Hannon 1979). C'est ce que nous avons tenté de faire avec les femelles pilets.

IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT

L'équation proposée ici pour déterminer le diamètre du plus gros follicule des femelles pilets séjournant à la halte migratoire printanière de Saint-Barthélemy à partir de paramètres non-invasifs ne donne qu'une estimation ($r^2 = 0.50$) de la taille réelle du plus gros follicule ovarien. Cette équation devrait être validée sur un échantillon indépendant avant de pouvoir être employée pour d'autres populations ou d'autres espèces. Le coefficient de détermination obtenu avec cette équation est légèrement plus faible que celui obtenu par Hannon (1979) dans la relation entre le calcium sérique total et le diamètre du plus gros follicule ($r = 0.57$; $P < 0,01$) pour le tétras sombre (*Dendragapus obscurus*). Par

ailleurs, ce chercheur avait proposé de séparer les deux groupes de femelles (pré-RFG et RFG) sur la base du taux de calcium sérique total, étant donné que la valeur maximale de calcium sérique total observée pour une femelle en pré-RFG était de 160 ppm (3.99 mmol/L, valeur transformée). Pour les femelles pilets à Saint-Barthélemy, le niveau minimal de calcium total des femelles en reproduction (RFG) est de 3.1 mmol/L (figure 3). Au dessus de cette valeur, toutes les femelles de notre étude étaient au stade de RFG.

En résumé, cette étude a permis de confirmer l'utilisation de la plaine d'inondation de Saint-Barthélemy par les femelles qui se préparent à la ponte. Ce site, riche en ressources alimentaires, leur permet d'accumuler les protéines et le calcium nécessaires à la formation des œufs au moment où plusieurs d'entre elles débutent la phase de croissance rapide des follicules ovariens. Les conditions du milieu à cet endroit favorisent la consommation d'une nourriture appropriée pour ces femelles.

L'augmentation de la masse osseuse des femelles pendant la croissance rapide des follicules confirme l'hypothèse de la mise en réserve du calcium dans l'os médullaire chez les femelles pilets. Ce phénomène n'avait jamais été rapporté pour cette espèce.

Bien que moins précise que la mesure du plus gros follicule ovarien, l'analyse des paramètres sanguins permet d'éviter certains inconvénients (sacrifice des individus) liés aux méthodes traditionnelles d'évaluation de la condition reproductrice des femelles. Le fait de pouvoir prélever des échantillons sanguins sans devoir sacrifier les individus permet ainsi d'effectuer des études de populations exigeant le suivi des animaux (ex. capture/recapture).

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le docteur Antoine Aubin (UQTR) pour ses conseils statistiques et le personnel du Ministère Environnement et Faune pour leur support technique. Cette étude a eu lieu en partie grâce à la participation financière de la Fondation Héritage Faune, de la Fédération de la Faune du Québec et de Canards Illimités ainsi qu'aux bourses octroyées par la Fondation Universitaire du Centre du Québec et par l'Université du Québec à Trois-Rivières. Ce manuscrit a bénéficié des commentaires formulés par Hélène Glémet et par Gilles Gauthier.

BIBLIOGRAPHIE

- Alisauskas, R.T., et C.D. Ankney. 1992. The cost of egg laying and its relationship to nutrient reserves in waterfowl. Pages 30-61 *in* B.D.J. Batt et al., editors. Ecology and management of breeding waterfowl. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Amand, W.B. 1986. Avian clinical hematology and blood chemistry. Pages 264-276 *in* M.E. Fowler, editor. Zoo and Wild Animal Medicine. Second edition. W.B Saunders, Philadelphia. PA.
- Ankney, C.D. 1977. Feeding and digestive organ size in breeding Lesser Snow Geese. *Auk* 94: 275-282.

_____, et A.D. Afton. 1988. Bioenergetics of breeding Northern Shovelers: diet, nutrient reserves, clutch size, and incubation. *Condor* 90: 459-472.

_____, _____, et R.T. Alisauskas. 1991. The role of nutrient reserves in limiting waterfowl reproduction. *Condor* 93: 1029-1032.

_____, et R.T. Alisauskas. 1991. Nutrient-reserve dynamics and diet of breeding female Gadwalls. *Condor* 93: 799-810.

_____, et C.D. MacInnes. 1978. Nutrient reserves and reproductive performance of female lesser snow geese. *Auk* 95: 459-471.

Austin, J.E., et M.R. Miller. 1995. Northern Pintail (*Anas acuta*). in A. Poole and F. Gill, editors. *The Birds of North America*, No. 163. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, and The American Ornithologists' Union, Washington, D.C.

Bart, J. et W. Notz. 1994. Analysis of data. Pages 24-74 in T.A. Bookhout ed. *Research and management techniques for wildlife and habitats*. Fifth ed. The Wildlife Society, Bethesda, Md.

Barzen, J.A., et J.R. Serie. 1990. Nutrient reserve dynamics of breeding canvasbacks. *Auk* 107: 75-85.

Bélanger, L., et R. Couture. 1989. Pintail, *Anas acuta*, use of man-made ponds in Quebec.

Canadian Field-Naturalist 103: 547-550.

Bourgeois, J.C. 1994. La halte migratoire du lac St-Pierre: un habitat d'importance internationale pour la sauvagine. QuébecOiseaux 5: 18-22.

_____, D. Dolan, et L. Houde. 1992. Couvées. Rapport d'inventaire de couvées de canards barboteurs au lac Saint-Pierre en 1984 et 1985. Ministère Environnement et Faune, Québec.

Choinière, L. et G. Gauthier. 1995. Energetics of reproduction in female and male greater snow geese. Oecologia 103: 379-389.

Derrickson, S.R. 1978. The mobility of breeding Pintails. Auk 95: 104-114.

Donham, R.S. 1979. Annual cycle of plasma luteinizing hormone and sex hormones in male and female Mallards (*Anas platyrhynchos*). Biol. Reprod. 21:1273.

Drobney, R.D. 1980. Reproductive bioenergetics of Wood ducks. Auk 97: 480-490.

_____. 1982. Body weight and composition changes and adaptations for breeding in wood ducks. Condor 84: 300-305.

Esler, D. 1994. Dynamics of ovarian follicles in breeding ducks. *Wilson Bulletin* 106: 697-688.

_____, et J.B. Grand. 1994. The role of nutrient reserves for clutch formation by northern pintails in Alaska. *Condor* 96: 422-432.

Fairbrother, A., M.A. Craig, K. Walker, et D. O'Loughlin. 1990. Changes in mallard (*Anas platyrhynchos*) serum chemistry due to age, sex, and reproductive condition. *Journal of Wildlife Disease* 26: 66-77.

Flint, P.L., et J.B. Grand. 1996. Variation in egg sex of the northern pintail. *Condor* 98: 162-165.

Fredrickson, L.H., et M.E. Heitmeyer. 1991. Life history strategies and habitat needs of northern pintail. *In* Waterfowl management handbook, Fish and Wildlife Leaflet 13.1.3, Washington, D.C.

Gauthier, G. 1993. Feeding ecology of nesting greater snow geese. *Journal of Wildlife Management* 57: 216-223.

_____, J.-F. Giroux, et J. Bédard. 1992. Dynamics of fat and protein reserves during winter and spring migration in greater snow geese. *Canadian Journal of Zoology* 70: 2077-2087.

- Gindler, E.M., et J.D. King. 1972. Rapid colorimetric determination of calcium in biological fluids with methylthymol blue. *American Journal of Clinical Pathology* 58: 376-382.
- Grenier, D., P. Dombrowski et J.-C. Bourgeois. Alimentation et sélection alimentaire du canard pilet (*Anas acuta*) à la halte migratoire de Saint-Barthélemy. En rédaction.
- Griminger, P., et C.G. Scanes. 1986. Protein metabolism. Pages 326-344 in P.D. Sturkie, editor. *Avian physiology*. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Hannon, S.J. 1979. Plasma calcium as an indicator of reproductive condition in female blue grouse. *Journal of Wildlife Management* 57: 463-465.
- Hochleithner, M. 1994. Biochemistries. Pages 223-245 in B.W. Ritchie, G.J. Harrison et L.R. Harrison. *Avian medicine: principle and application*. Wingers Publishing, Florida.
- Hohman, W.L. 1985. Feeding ecology of ring-necked ducks in northwestern Minnesota. *Journal of Wildlife Management* 49: 546-557.
- _____. 1986. Changes in body weight and body composition of breeding ring-necked ducks (*Aythya collaris*). *Auk* 103: 181-188.

Johnson, A.L. 1986. Reproduction in the female. Pages 403-431 *in* P.D. Sturkie, editor.

Avian physiology. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.

Joyner, K.L. 1994. Theriogenology. Pages 748-804 *in* B.W. Ritchie, G.J. Harrison et L.R.

Harrison. Avian medicine: principle and application. Wingers Publishing, Florida.

Kenny, A.D. 1986. Parathyroid and ultimobranchial glands. Pages 466-478 *in* P.D. Sturkie,

editor. Avian physiology. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.

Korschgen, C.E. 1977. Breeding stress of female eiders in Maine. Journal of Wildlife

Management 41: 360-373.

Krapu, G.L. 1974a. Feeding ecology of of Pintail hens during reproduction. Auk 91: 278-

290.

_____. 1974b. Foods of breeding Pintails in North Dakota. Journal of Wildlife

Management 38: 408-417.

_____. 1981. The role of nutrient reserves in mallard reproduction. Auk 98: 29-38.

_____, et K.J. Reinecke. 1992. Foraging ecology and nutrition. Pages 1-29. *in* B.D.J. Batt

et al., editors. Ecology and management of breeding waterfowl. University of

Minnesota Press, Minneapolis.

- LaGrange, T.G., et J.J. Dinsmore. 1988. Nutrient reserve dynamics of female mallards during spring migration through central Iowa. Pages 287-297 in M.W. Weller, editor. *Waterfowl in Winter*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- MacInnes, C.D., R.A. Davis, R.N. Jones, B.C. Lieff, et A.J. Pakulak. 1974. Reproductive efficiency of McConnell River small Canada Geese. *Journal of Wildlife Management* 38: 686-707.
- Mann, F.E., et J.S. Sedinger. 1993. Nutrient-reserve dynamics and control of clutch size in Northern Pintails breeding in Alaska. *Auk* 110: 264-278.
- Marsh, R.L. 1984. Adaptations of the gray catbird *Dumetella carolinensis* to long-distance migration: flight muscle hypertrophy associated with elevated body mass. *Physiological zoology* 57: 105-117.
- Martin, R.M., M.E. Lisano, et J.E. Kennamer. 1981. Plasma estrogens, total protein, and cholesterol in the female eastern wild turkey. *Journal of Wildlife Management* 45: 798-802.
- Milne, H. 1976. Body weights and carcass composition of the common eider. *Wildfowl* 27: 115-122.

- Ministère de l'environnement et de la Faune. 1989. Saint-Barthélemy/Saint-Joseph-de-Maskinongé: Plan d'acquisition d'habitats et d'aménagements fauniques (Résumé du Projet).
- Mohtadji-Lamballais, C. 1989. Les aliments. Éditions Maloine, Paris. 203 p.
- Murphy, A.J., et D.A. Boag. 1989. Body reserve and food use by incubating Canada geese. *Auk* 106: 439-446.
- Phillips, R.E., et A. Van Tienhoven. 1962. Some physiological correlates of Pintail reproductive behavior. *Condor* 64: 291-298.
- Raveling, D.G. 1979. The annual cycle of body composition of Canada geese with special reference to control of reproduction. *Auk* 96: 234-252.
- Reinecke, K.J., T.L. Stone, et R.B. Owen. 1982. Seasonal carcass composition and energy balance of female Black Ducks breeding in Maine. *Condor* 84: 420-426.
- Ryder, J.P. 1970. A possible factor in the evolution of clutch size in Ross' Goose. *Wilson Bulletin* 82: 5-13.
- SPSS Science Marketing Department, eds. 1998. SYSTAT 8.0: statistics. Chicago

Tome, M.W. 1984. Changes in nutrient reserves and organ size of female Ruddy Ducks breeding in Manitoba. *Auk* 101: 830-837.

Tableau 1. Principales composantes (moyenne \pm écart-type) des canards pilets
femelles à Saint-Barthélemy selon leur stade de reproduction (Pré-RFG
et RFG) au printemps 1997

Composante	Pré-RFG ($n = 18$)	RFG ($n = 9$)	P^a
Poids frais (g)	937.1 \pm 71.3	1038.2 \pm 75.7	< 0.01
Poids éviscéré (g)	825.7 \pm 70.8	900.5 \pm 67.0	\leq 0.05
Graisses (g)	146.2 \pm 40.7	168.4 \pm 60.6	N.S.
Protéines (g)	212.4 \pm 60.3	275.9 \pm 84.6	< 0.05
Cendres (g)	24.2 \pm 3.2	27.8 \pm 7.5	< 0.05
Ø follicule (mm)	5.7 \pm 1.4	12.0 \pm 2.7	< 0.001
Poids follicules (g)	1.3 \pm 0.5	2.7 \pm 1.1	< 0.001
Calcium total (mmol/L)	2.6 \pm 0.3	3.4 \pm 1.0	< 0.01
Oestradiol (pg/ml) ^b	52.4 \pm 32.0	61.7 \pm 45.4	N.S.
Progestérone (mmol/L) ^b	0.7 \pm 0.8	0.6 \pm 0.6	N.S.

^a test de Kruskal-Wallis; N.S.: non-significatif ($P > 0.05$)

^b $n = 16$

Tableau 2. Comparaison (test t) entre les composantes (grammes, moyenne \pm erreur-type) des canards pilets femelles en Alaska (1987 et 1988) et à Saint-Barthélemy (1997)

Pré-RFG					
	Alaska ^a	Saint-Barthélemy			
	<i>n</i> = 19	<i>n</i> = 18	différence	<i>t</i>	<i>P</i> ^b
Poids frais	772 \pm 16	937.1 \pm 16.8	-165.1	-7.03	**
Graisses	76.2 \pm 5.8	146.2 \pm 9.6	-70.0	-6.23	**
Protéines	138.4 \pm 3.7	212.4 \pm 14.2	-74.0	-5.09	**
Cendres	23.4 \pm 1.3	24.2 \pm 0.8	-0.8	-0.51	N.S.
RFG					
	Alaska	Saint-Barthélemy			
	<i>n</i> = 6	<i>n</i> = 9	différence	<i>t</i>	<i>P</i>
Poids frais	876 \pm 19	1038.2 \pm 25.2	-162.2	-4.48	**
Graisses	121.6 \pm 14.7	168.4 \pm 20.2	-46.8	-1.63	N.S.
Protéines	138.4 \pm 2.6	275.9 \pm 28.2	-137.5	-3.78	*
Cendres	23.8 \pm 2.8	27.8 \pm 2.4	-4.0	-1.02	N.S.

^a Mann et Sedinger (1993)

^b N.S. non-significatif ($P > 0.05$); * $P < 0.005$; ** $P < 0.001$

Légende des figures

Figure 1. Diamètre du plus gros follicule ovarien de 27 femelles pilets abattues à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction de la date. Les cercles pleins représentent les femelles en RFG ($\varnothing > 8.2$ mm; Esler 1994).

Figure 2. Poids des follicules ovariens de 27 femelles pilets abattues à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction du diamètre du plus gros follicule ovarien. Les cercles pleins représentent les femelles en RFG ($\varnothing > 8.2$ mm; Esler 1994).

Figure 3. Calcium sérique total de 27 femelles pilets abattues à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction du diamètre du plus gros follicule ovarien. Les cercles pleins représentent les femelles en RFG ($\varnothing > 8.2$ mm; Esler 1994).

Figure 4. Poids des cendres de 27 femelles pilets abattues à Saint-Barthélemy au printemps 1997 en fonction du diamètre du plus gros follicule ovarien. Les cercles pleins représentent les femelles en RFG ($\varnothing > 8.2$ mm; Esler 1994).

Figure 1

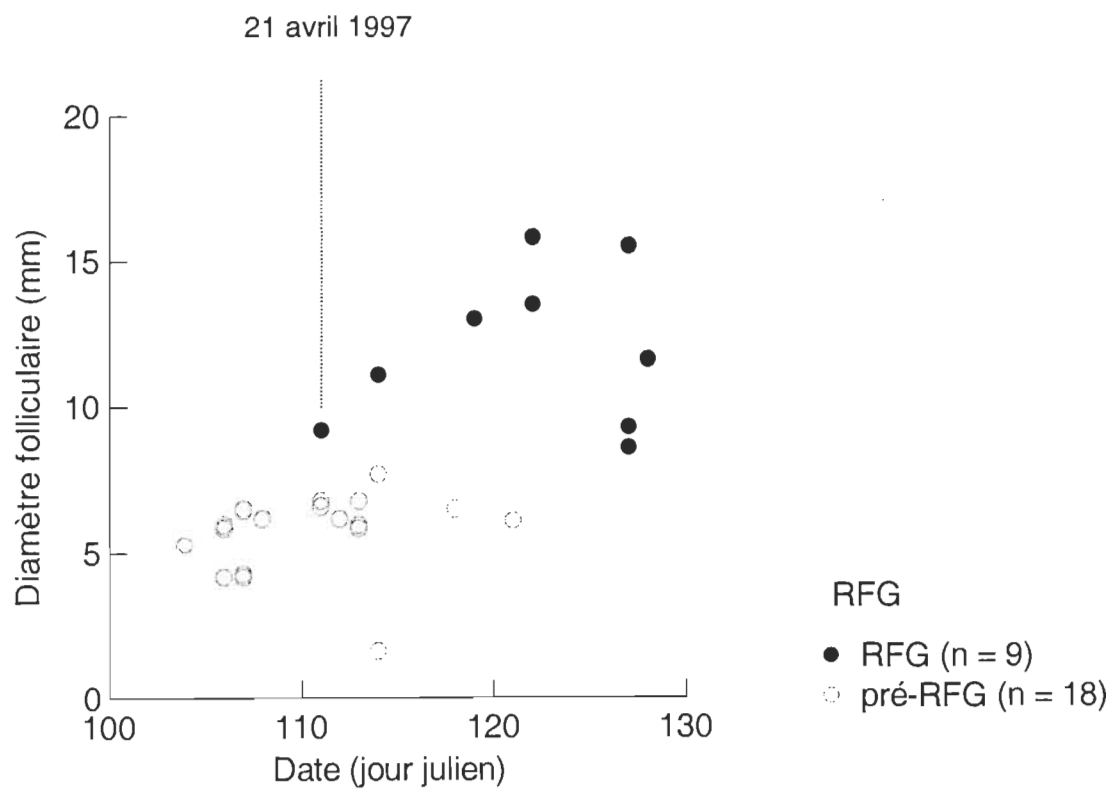


Figure 2

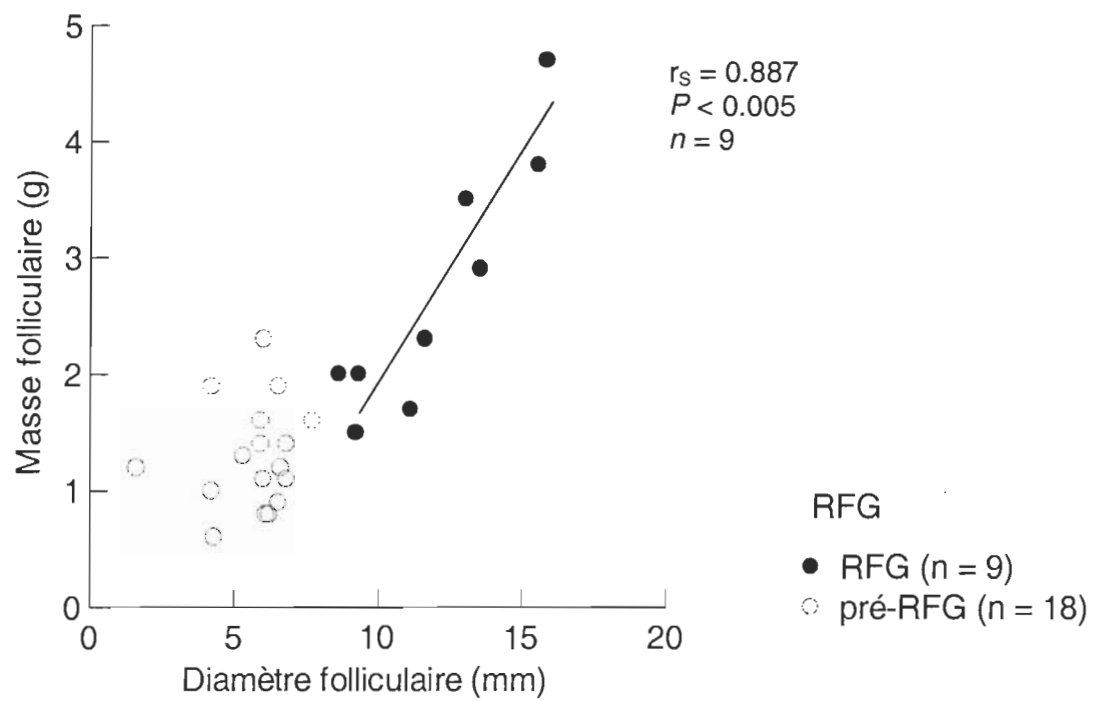


Figure 3

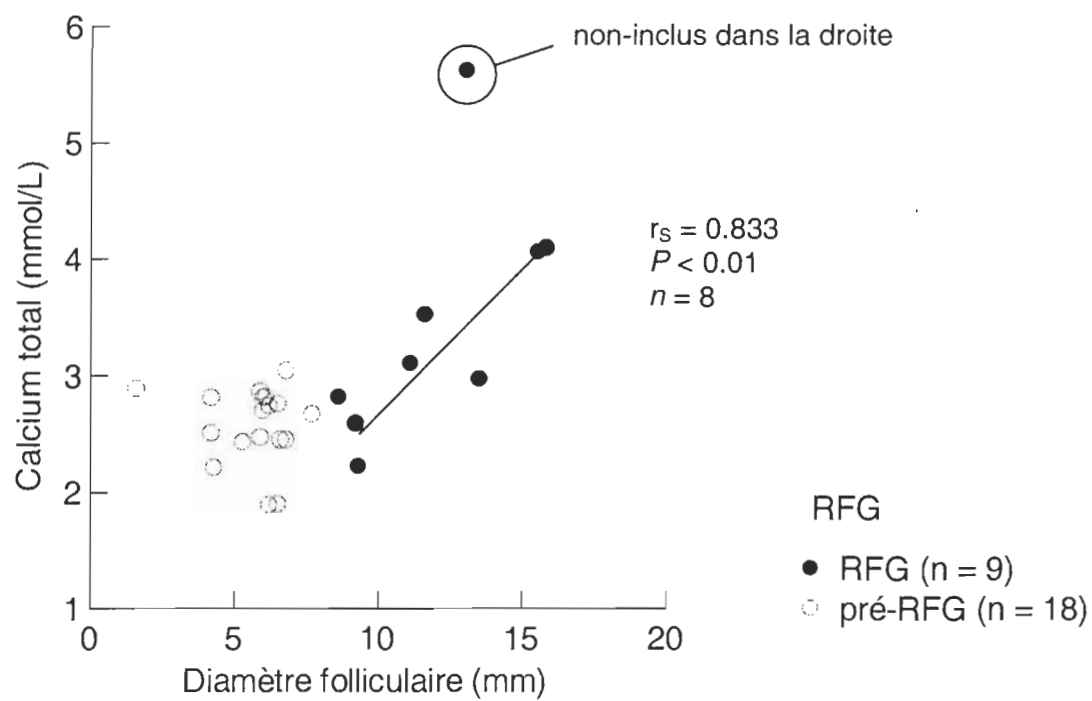
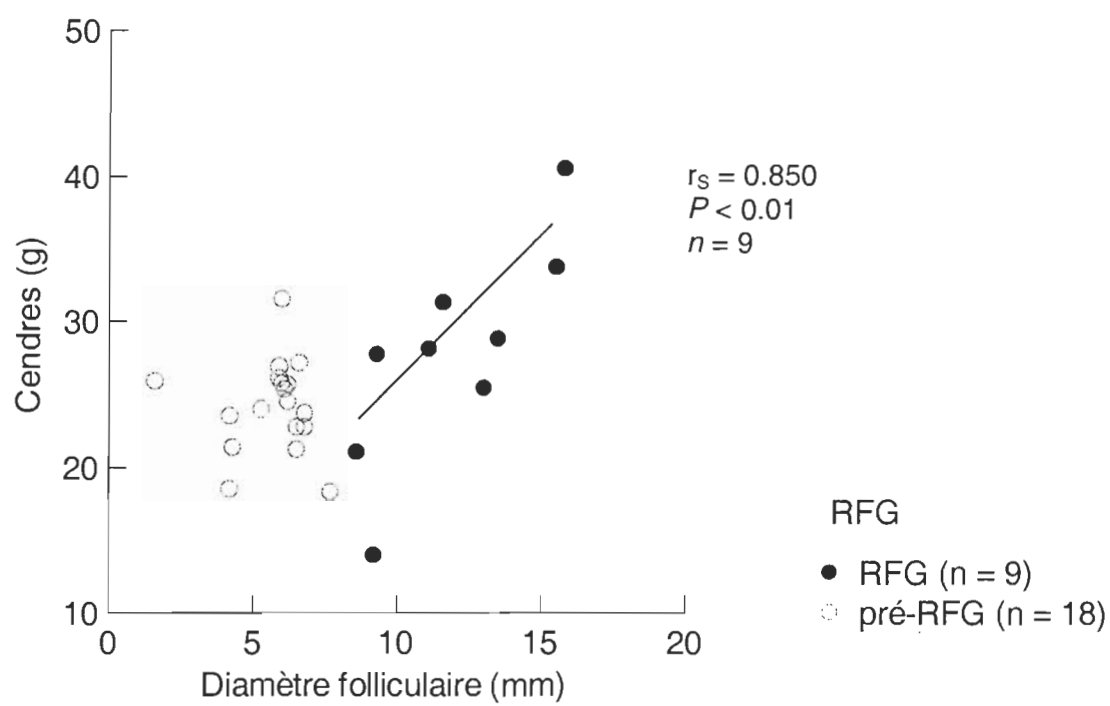


Figure 4



CONCLUSION GÉNÉRALE

En résumé, cette étude a permis de confirmer l'importance de la halte migratoire de Saint-Barthélemy pour les canards pilets qui s'y rassemblent au printemps. Elle permet aux canards pilets qui y séjournent d'améliorer leur condition physiologique. Le site leur procure un habitat dont les ressources nutritionnelles sont de bonne qualité et en quantité suffisante. Les éléments nutritifs trouvés dans la diète permettent aux canards pilets de prendre des forces après leur voyage vers le nord sans puiser dans leurs réserves internes. Ils permettent aussi aux femelles d'accumuler les protéines et le calcium nécessaires à la formation des œufs au moment où plusieurs d'entre elles débute la phase de croissance rapide des follicules ovariens. La présence de plusieurs femelles qui ont montré un début de maturation des follicules ovariens indique que la région du lac Saint-Pierre sera utilisée par plusieurs d'entre elles pour la nidification. Les conditions du milieu à Saint-Barthélemy favorisent la consommation d'une nourriture appropriée pour ces femelles.

L'augmentation de la masse osseuse des femelles pendant la croissance rapide des follicules confirme l'hypothèse de la mise en réserve du calcium dans l'os médullaire chez les femelles pilets. Ce phénomène n'avait jamais été rapporté pour cette espèce.

Finalement, il est essentiel de garder à l'esprit que l'analyse des paramètres sanguins chez le canard pilet n'est pas une fin en soi. Les relations établies à partir de paramètres biochimiques sanguins procurent une méthode d'estimation de la condition physiologique qui peut être réalisée sur des animaux vivants. Les résultats de notre étude pourront orienter les recherches visant à utiliser cette méthode sur d'autres espèces. Le fait de pouvoir prélever des échantillons sanguins sans devoir sacrifier les individus permet ainsi d'effectuer des études de populations exigeant le suivi des animaux (ex. capture/recapture). Il sera possible par la suite de penser à des études complémentaires qui permettraient de vérifier si d'autres travaux doivent être effectués à la halte migratoire de Saint-Barthélemy.

RÉFÉRENCES DE L'INTRODUCTION GÉNÉRALE

- Afton, A., et C.D. Ankney. 1991. Nutrient-reserve dynamics of breeding lesser scaup: a test of competing hypotheses. *Condor* 93: 89-97.
- Altman, R.B. 1986. Clinical pathology. Pages 357-363 *in* M.E. Fowler, editor. *Zoo and Wild Animal Medicine*. Second edition. W.B Saunders, Philadelphia. PA.
- Amand, W.B. 1986. Avian clinical hematology and blood chemistry. Pages 264-276 *in* M.E. Fowler, editor. *Zoo and Wild Animal Medicine*. Second editor. W.B Saunders, Philadelphia. PA.
- Ankney, C.D., et A.D. Afton. 1988. Bioenergetics of breeding northern shoveler: diet, nutrient reserves, clutch size and incubation. *Condor* 90: 459-472.
- Ankney, C.D., A.D. Afton, et R.T. Alisauskas. 1991. The role of nutrient reserves in limiting waterfowl reproduction. *Condor* 93: 1029-1032.
- Ankney, C.D., et C.D. MacInnes. 1978. Nutrient reserves and reproductive performance of female lesser snow geese. *Auk* 95: 459-471.

- Austin, J.E., et M.R. Miller. 1995. Northern Pintail (*Anas acuta*). in The Birds of North America, No. 163. (A. Poole and F.Gill, eds.). The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, and The American Ornithologists' Union, Washington, D.C.
- Bastien, H. 1993. Sélection de l'habitat et bilan d'activité du canard pilet (*Anas acuta*) au printemps, à la halte migratoire de Saint-Barthélemy, Québec. Mémoire de maîtrise UQTR.
- Belanger, L., et R. Couture. 1989. Pintail, *Anas acuta*, use of man-made ponds in Quebec. Canadian Field-Naturalist 103: 547-550.
- Bellerose, F.C. 1980. Ducks, Geese and Swans of North American. Third edition. Stockpole Books, Harrisburg, PA.
- Bourgeois, J.C. 1994. La halte migratoire du lac St-Pierre: un habitat d'importance internationale pour la sauvagine. QuébecOiseaux 5(3): 18-22.
- Derrickson, S.R. 1978. The mobility of breeding Pintails. Auk 95: 104-114.
- Donham, R.S. 1979. Annual cycle of plasma luteinizing hormone and sex hormones in male and female Mallards (*Anas platyrhynchos*). Biol. Reprod. 21:1273.

- Esler, D., et J.B. Grand. 1994. The role of nutrient reserves for clutch formation by Northern Pintails in Alaska. *Condor* 96: 422-432.
- Fairbrother, A. 1990. Changes in mallard (*Anas platyrhynchos*) serum chemistry due to age, sex, and reproductive condition. *J. Wildl. Dis.* 26: 66-67.
- Fairbrother, A., et D. O'Loughlin. 1990. Differential white blood cell values of the mallard (*Anas platyrhynchos*) across different ages and reproductive states. *J. Wildl. Dis.* 26: 78-82.
- Fredrickson, L.H., et M.E. Heitmeyer. 1991. Life history strategies and habitat needs of northern pintail. *in* Waterfowl management handbook. Fish and Wildlife Leaflet 13.1.3, Washington, D.C.
- Gauthier, G., J.-F. Giroux, et J. Bédard. 1992. Dynamics of fat and protein reserves during winter and spring migration in greater snow geese. *Can. J. Zool.* 70: 2077-2087.
- Griminger, P. 1986. Lipid metabolism. Pages 345-358 *in* P.D. Sturkie, editor. *Avian physiology*. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Hannon, S.J. 1979. Plasma calcium as an indicator of reproductive condition in female blue grouse. *J. Wildl. Manage.* 57: 463-465.

- Harder, J.D., et R.L. Kirkpatrick. 1994. Physiological methods in wildlife research. Pages 275-306 *in* T.H. Bookhout, editor. Research and management techniques for wildlife and habitats. The Wildlife Society, Maryland.
- Harris, L.E. 1970. Nutrition research techniques for domestic and wild animals. Vol.I. An international record system and procedures for analyzing samples. Utah State Univ., Logan. 233pp.
- Hochleithner, M. 1994. Biochemistries. Pages 223-245 *in* B.W. Ritchie, G.J. Harrison et L.R. Harrison. Avian medecine: principle and application. Wingers Publishing, Florida.
- Johnson, A.L. 1986. Reproduction in the female. Pages 403-431 *in* P.D. Sturkie, editor. Avian physiology. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.
- Johnson, D.H., G.L. Krapu, K.J. Reinecke, et D.G. Jorde. 1985. An evaluation of condition indices for birds. *J. Wildl. Manage.* 49: 569-575.
- Joyner, K.L. 1994. Theriogenology. Pages 748-804 *in* B.W. Ritchie, G.J. Harrison et L.R. Harrison. Avian medecine: principle and application. Wingers Publishing, Florida.
- Korschgen, C.E. 1977. Breeding stress of female eiders in Maine. *J. Wildl. Manage.* 41: 360-373.

- Krapu, G.L. 1974a. Feeding ecology of Pintail hens during reproduction. *Auk* 91: 278-290.
- Krapu, G.L. 1974b. Foods of breeding Pintails in North Dakota. *J. Wildl. Manage.* 38: 408-417.
- Krapu, G.L. 1981. The role of nutrient reserves in mallard reproduction. *Auk* 98: 29-38.
- Krapu, G.L., et K.J. Reinecke. 1992. Foraging ecology and nutrition. Pages 1-29 in *Ecology and management of breeding waterfowl* (B.D.J. Batt, A.D. Afton, M.G. Anderson, C.D. Ankney, D.H. Johnson, J.A. Kadlec, and G.L. Krapu, editors.) University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Krapu, G.L., et G.A. Swanson. 1975. Some nutritional aspects of reproduction in prairie-nesting Pintails. *J. Wildl. Manage.* 39: 156-162.
- Laubhan, M.K., et L.H. Frederickson. 1992. Estimating seed production of common plants in seasonally flooded wetlands. *J. Wildl. Manage.* 56: 329-337.
- Letellier, G., et R. Daigneault. 1983. Principaux paramètres biochimiques dosés dans le sérum humain, Guérin éditeur, Montréal.
- Mann, F.E., et J.S. Sedinger. 1993. Nutrient-reserve dynamics and control of clutch size in Northern Pintails breeding in Alaska. *Auk* 110: 264-278.

- Martin, R.M., M.E. Lisano, et J.E. Kennamer. 1981. Plasma estrogens, total protein, and cholesterol in the female eastern wild turkey. *J. Wildl. Manage.* 45:798-802.
- McRae, W.A., et R.W. Dimmick. 1982. Body fat and blood-serum values of breeding wild bobwhites. *J. Wildl. Manage.* 46: 268-271.
- Miller, M.R. 1986. Northern Pintail body condition during wet and dry winters in the Sacramento Valley, California. *J. Wildl. Manage.* 50: 189-198.
- Miller, M.R. 1987. Fall and winter foods of Northern Pintails in the Sacramento Valley, California. *J. Wildl. Manage.* 51: 405-414.
- Ministère de l'environnement et de la faune. 1989. Saint-Barthélemy/Saint-Joseph-de-Maskinongé: Plan d'acquisition d'habitats et d'aménagements fauniques (Résumé du Projet).
- Olsen, J.H. 1994. Anseriformes. Pages 1237-1275 *in* *Avian Medicine: principles and application*. Wingers Publishing, Florida.
- Rave, D.P., et C.L. Cordes. 1993. Time-activity budget of Northern Pintails using nonhunted rice fields in southwestern Louisiana. *J. Field. Ornithol.* 64: 211-218.

- Raveling, D.G., et M.E. Heitmeyer. 1989. Relationships of population size and recruitment of Pintails to habitat conditions and harvest. *J. Wildl. Manage.* 53: 1088-1103.
- Sheeley, D.G., et L.M. Smith. 1989. Tests of diet and condition bias in hunter-killed Northern Pintails. *J. Wildl. Manage.* 53: 765-769.
- Smith, R.I. 1970. Response of Pintail breeding populations to drought. *J. Wildl. Manage.* 34: 943-946.
- Smith, L.M. et D.G. Shelley. 1993. Factors affecting condition of Northern Pintails wintering in the Southern High Plains. *J. Wildl. Manage.* 57: 62-71.
- Swanson, G.A. 1983. Benthic sampling for waterfowl foods in emergent vegetation. *J. Wildl. Manage.* 47: 821-823.
- Swanson, G.A., et M.I. Meyer. 1977. Impact of fluctuating water levels on feeding ecology of breeding Blue-Winged Teal. *J. Wildl. Manage.* 41: 426-433.
- Thompson, J.D., et G.A. Baldassarre. 1991. Activity patterns of nearctic dabbling ducks wintering in Yucatan, Mexico. *Auk* 108: 934-941.
- Whittow, C.G. 1986. Energy metabolism. Pages 253-268 *in* P.D. Sturkie, editor. *Avian physiology*. Fourth edition. Springer-Verlag, New York, N.Y.

Whyte, R.J., et E.G. Bolen. 1984. Variation in winter fat depots and condition indices of mallards. *J. Wildl. Manage.* 48: 1370-1373.